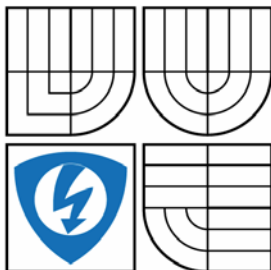


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘENÍ NÁKLONU PRO FYZIOTERAPII

INCLINATION MEASUREMENT FOR PHYSIOTHERAPY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ STEHNO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LUDĚK ŽALUD, Ph.D.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Tomáš Stehno

ID: 70233

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Měření náklonu pro fyzioterapii

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s terapií vozíčkářů pomocí dynamického vertikalizátoru. Prostudujte technické možnosti vertikalizátoru a navrhňte systém pro sledování jeho náklonu pomocí jednoduchého zapojení mikrokontroléru s dvouosým inklinoměrem. Navržené zapojení realizujte a ověřte jeho funkci. Navrhňte, jakým způsobem lze informaci o náklonu využít při terapii s biologickou zpětnou vazbou.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

H.R. Everett, Sensors for Mobile Robots - Theory and Application, A K Peters, 1995, ISBN 1-56881-048-2

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 23.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem systému pro měření náklonu s použitím dvouosého akcelerometru. Informace o náklonu se zobrazují na grafický displej a současně odesílají po sériovém rozhraní RS-232. Práce obsahuje popis návrhu hardwarové části a programového vybavení.

Klíčová slova

Měření náklonu, dynamický vertikalizátor, ADXL202, ATmega162, ATM12864D, Input Capture.

Abstract

Master's thesis deals with the design of the system for tilt measurement using two-axis accelerometer. Information about tilt is displayed on the graphical display and simultaneously sends on serial interface RS-232. The thesis includes the design of hardware part and program equipment.

Keywords

Tilt measurement, dynamic verticalizator, ADXL202, ATmega162, ATM12864D, Input Capture.

Bibliografická citace:

STEHNO, T. *Měření náklonu pro fyzioterapii*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 60s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Měření náklonu pro fyzioterapii jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Luděkovi Žaludovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....
podpis autora

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 12 |
| 2 | Dynamický vertikalizátor Balance Trainer | 13 |
| 2.1 | Vertikalizace | 13 |
| 2.2 | Popis dynamického vertikalizátoru..... | 13 |
| 2.3 | Indikace | 14 |
| 2.4 | Léčba pomocí dynamického vertikalizátoru | 15 |
| 2.5 | Technický popis přístroje Balance Trainer | 15 |
| 2.5.1 | Nastavení přístroje Balance Trainer..... | 15 |
| 2.5.2 | Technické údaje přístroje Balance Trainer | 17 |
| 3 | Součásti měřicího systém | 18 |
| 3.1 | Akcelerometr ADXL202..... | 18 |
| 3.1.1 | Popis funkce pinů a názvosloví ADXL202..... | 19 |
| 3.1.2 | Nastavení parametrů akcelerometru | 21 |
| 3.1.3 | Výpočet hodnoty náklonu..... | 22 |
| 3.2 | Mikrokontrolér ATmega162..... | 23 |
| 3.2.1 | Jednotka Input Capture | 24 |
| 3.2.2 | Sériový kanál USART | 25 |
| 3.3 | Grafický displej ATM12864D..... | 25 |
| 3.3.1 | Vývody displeje ATM12864D | 26 |
| 3.3.2 | Časování displeje ATM12864D | 27 |
| 3.3.3 | Řídící instrukce displeje | 28 |
| 4 | Zapojení měřicího systému..... | 33 |
| 4.1 | Napájení | 33 |
| 4.2 | Zapojení mikrokontroléru ATmega162 | 34 |
| 4.3 | Sériový kanál..... | 35 |
| 4.4 | Zapojení grafického LCD displeje ATM12864D | 36 |
| 4.5 | Zapojení akcelerometru ADXL202 | 37 |
| 5 | Programová část | 39 |
| 5.1 | Nastavení a inicializace | 40 |
| 5.2 | Přerušení jednotky Input Capture | 41 |
| 5.2.1 | Nastavení jednotky Input Capture | 41 |
| 5.2.2 | Obsluha přerušení jednotky Input Capture | 41 |
| 5.3 | Průměrování | 42 |

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 5.4 | Výpočet náklonu | 42 |
| 5.5 | Zobrazení na displej | 43 |
| 5.5.1 | Inicializace displeje | 45 |
| 5.5.2 | Zobrazení hodnot náklonu | 45 |
| 5.6 | Odeslání hodnot po USART | 47 |
| 5.7 | Blok zpoždění..... | 47 |
| 6 | Návrh desky plošných spojů | 48 |
| 7 | Měření | 52 |
| 7.1 | Zachytávání dat | 52 |
| 7.2 | Vyhodnocení dat | 52 |
| 8 | Závěr | 56 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1. Dynamický vertikalizátor Balance Trainer [2] | 14 |
| Obrázek 2. Popis přístroje Balance Trainer [2] | 16 |
| Obrázek 3. Technické údaje přístroje Balance Trainer [1] | 17 |
| Obrázek 4. Struktura snímače ADXL202 [5] | 18 |
| Obrázek 5. Parametry akcelerometru ADXL202 [5] | 19 |
| Obrázek 6. Konfigurace pinů akcelerometru ADXL202 [5] | 19 |
| Obrázek 7. Typický výstup střídavého signálu [5] | 20 |
| Obrázek 8. Převod hodnoty zrychlení v g na úhel naklonění [6] | 22 |
| Obrázek 9. Mikrokontrolér ATmega162 [4] | 23 |
| Obrázek 10. Blokový diagram jednotky Input Capture [4] | 24 |
| Obrázek 11. Časová posloupnost zápisu do ATM12864D [3] | 28 |
| Obrázek 12. Instrukce pro ovládání displeje ATM12864D | 29 |
| Obrázek 13. Instrukce zapínání/vypínání displeje | 29 |
| Obrázek 14. Instrukce nastavení adresy X displeje | 30 |
| Obrázek 15. Instrukce nastavení adresy Y displeje | 30 |
| Obrázek 16. Instrukce nastavení stránky displeje | 31 |
| Obrázek 17. Instrukce čtení stavového slova displeje | 31 |
| Obrázek 18. Instrukce pro zápis dat na displej | 32 |
| Obrázek 19. Instrukce čtení dat z paměti DDRAM displeje | 32 |
| Obrázek 20. Rozdělení displeje na řádky, sloupce a stránky | 32 |
| Obrázek 21. Zapojení stabilizátoru LM2931 | 33 |
| Obrázek 22. Zapojení mikrokontroléru ATmega162 | 35 |
| Obrázek 23. Zapojení převodníku MAX232 | 36 |
| Obrázek 24. Zapojení grafického displeje ATM12864D | 37 |
| Obrázek 25. Zapojení akcelerometru ADXL202 | 38 |
| Obrázek 26. Vývojový diagram programu pro měření náklonu | 39 |
| Obrázek 27. Připojení hlavičkových souborů | 40 |
| Obrázek 28. Navržené znaky číslic 0 – 9, čárky a mezery | 43 |
| Obrázek 29. Navržené znaky „osa X“ a „osa Y“ | 44 |
| Obrázek 30. Číselná interpretace navrženého znaku „0“ | 44 |
| Obrázek 31. Schéma zapojení systému pro měření náklonu | 48 |
| Obrázek 32. Deska plošných spojů | 49 |
| Obrázek 33. Osazovací výkres desky plošných spojů | 50 |
| Obrázek 34. Graf absolutní chyby měření | 53 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 35. Vypočítané hodnoty z dat osy Y při nulovém náklonu | 54 |
| Obrázek 36. Graf hodnoty náklonu osy Y při vstupním náklonu 0° | 54 |
| Obrázek 37. Hodnota šumu udaná výrobcem akcelerometru [21] | 55 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1. Součásti a ovládací prvky přístroje Balance Trainer [2] | 16 |
| Tabulka 2. Tabulka vývodů LCD displeje [3] | 26 |
| Tabulka 3. Elektrická rozpiska součástek..... | 51 |

1 ÚVOD

Pro pacienty, kteří trpí poruchami rovnováhy, poraněním míchy, páteře nebo jsou delší dobu po úrazu upoutáni na lůžko, je zapotřebí tohoto pacienta rozpohybovat. U těchto pacientů nedostatkem pohybu dochází k ochabnutí svalstva pohybového ústrojí, zpomalení střevní peristaltiky a k infekci močových cest. Těmto následkům se zabraňuje pomocí fyzioterapie a to především pomocí vertikalizace pacienta. Mezi pokročilé pomůcky pro vertikalizaci je přístroj Balance Trainer, který umožňuje statický a dynamický stoj zároveň. Ve fyzioterapii je také velmi důležitá zpětná vazba, kdy se pacient může sám přesvědčit o vlastních pokrocích. Jedním ze způsobů jak získávat zpětnou vazbu, je měřit aktuální polohu těžiště pacienta a následně ji zobrazit.

Zde navrhovaný systém měří náklon dynamického vertikalizátoru Balance Trainer pomocí dvouosého akcelerometru. Získané hodnoty jsou zpracovány mikrokontrolérem a zobrazovány pomocí grafického displeje. Zároveň jsou tyto hodnoty posílány po sériové lince a jsou tak k dispozici pro následné zpracování.

2 DYNAMICKÝ VERTIKALIZÁTOR BALANCE TRAINER

2.1 Vertikalizace

Vertikalizace je uvedení pacienta do vertikální polohy. Vertikalizace může být částečná - v sedě nebo úplná - ve stoje. Neprodleně po úrazu či operaci, existuje požadavek na co nejrychlejší vertikalizaci pacienta, postavení na vlastní nohy. Při takovéto změně denního režimu, kdy pacient pouze leží, dochází ke zlepšení jeho psychického stavu. Pokud není vyhověno tomuto požadavku, může dojít ke zdravotním komplikacím, které mají závažný charakter. Těmito komplikacemi mohou být například poruchy vyprazdňování horních močových cest a jejich infekce.

K vertikalizaci slouží především polohovací lůžka, polohovací křesla a dynamické vertikalizátory. Nevýhodou polohovacích lůžek a křesel je v tom, že umožňují pouze statické polohování. Při použití dynamického vertikalizátoru je pohyb rozmanitější a více prospěšný pro zdravotní stav pacienta. [17]

2.2 Popis dynamického vertikalizátoru

Dynamický vertikalizátor je terapeutický přístroj, který se používá ve fyzioterapii pro cvičení statického a dynamického stoje. Tento rehabilitační pohybový тренаžér lze použít nejen pro cvičení stání, ale také pro cvičení rovnováhy. Léčba se může zaměřit na zachování mobility nebo na rehabilitaci, která následuje po úrazu či operaci.

Balance Trainer je přístrojem německé firmy Medica Medizintechnik GmbH. Přístroj byl poprvé sestaven v roce 2004. Zatím posledním modelem je výrobek z roku 2008. [1]



Obrázek 1. Dynamický vertikalizátor Balance Trainer [2]

2.3 Indikace

Rehabilitační pohybový trenažér je určen pro pacienty, kteří jsou schopni se na trenažér postavit s malou pomocí terapeuta. Pro pacienty, jejichž pohyblivost neumožňuje postavení do trenažéru je možné využít zvedacího mechanismu, který lze připojit k vertikalizátoru.

Diagnózy umožňující použití dynamického vertikalizátoru:

- poruchy rovnováhy,
- paraplegie (ochrnutí dolních končetin),
- tetraplegie (ochrnutí všech končetin),
- roztroušená skleróza,
- Parkinsonova choroba,
- mozková příhoda,
- geriatrická onemocnění.

[17]

2.4 Léčba pomocí dynamického vertikalizátoru

Váha pacienta, který je upevněn ve vertikalizátoru, se přenese na tento přístroj a tím je stoj pacienta jistější. Pomocí přístroje lze cvičit stoj, rovnováha, střídání nohou, chůze.

Pozitivní účinky dynamického vertikalizátoru:

- odlehčení hmotnosti,
- trénink rovnováhy,
- stabilizace krevního oběhu,
- prevence osteoporózy,
- zlepšení dýchání,
- pozitivní vliv na vyprazdňování horních močových cest,
- pozitivní vliv na zažívací trakt.
- posílení svalů.

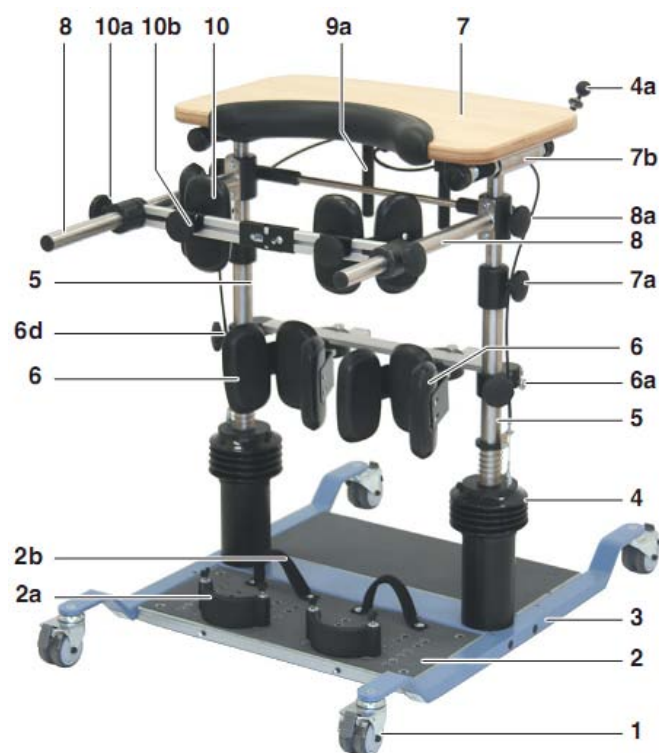
[12]

2.5 Technický popis přístroje Balance Trainer

2.5.1 Nastavení přístroje Balance Trainer

Terapeutický přístroj Balance Trainer je složen z terapeutického stolu, nášlapné desky, základového rámu, opěrek kolen, kyčelních opěrek.

Přístroj lze dovybavit elektrickým zvedacím systémem. Systém je tvořen motorovou jednotkou s navíječem pásu, transformátorem a elektrickým kabelem. Lze ho ovládat pomocí ručního dálkového ovládání nebo trubičkou pro ovládání ústy a pro zastavení je zde záchranné vypínací tlačítko.



Obrázek 2. Popis přístroje Balance Trainer [2]

| | |
|-----|---|
| 1 | Kolečka |
| 2 | Nášlapná deska |
| 2a | Misky pat |
| 2b | Fixační pásky chodidel |
| 3 | Základový rám |
| 4 | Balanční kloub a blokovací objímka |
| 4a | Přepínací páka tréninku rovnováhy |
| 5 | Vertikální podpora |
| 6 | Kolenní opěry |
| 6a | Pojistné čepy kolenních opěr |
| 6d | Výškové nastavení kolenních opěr |
| 7 | Terapeutický stůl |
| 7a | Nastavení výšky terapeutického stolu |
| 7b | Horizontální nastavení terapeutického stolu |
| 8 | Madla |
| 8a | Nastavení výšky madel |
| 9a | Upevňovací místo pro zvedací systém |
| 10 | Kyčelní opěry |
| 10a | Nastavení kyčelních opěr |
| 10b | Boční nastavení kyčelních opěr |

Tabulka 1. Součásti a ovládací prvky přístroje Balance Trainer [2]

Na přístroji lze nastavovat polohu terapeutického stolu, kolenních opěrek, madel, kyčelních opěrek a funkce Balance.

Pomocí přepínací páky 4a se nastavuje funkce Balance, která slouží pro trénink rovnováhy.

Funkce má tři stavy:

- 0° - funkce Balance blokována,
- 6° - funkce Balance s omezeným pohybem,
- 12° - funkce Balance v plném rozsahu pohybu.

Tato funkce nám určuje možný rozsah pohybu přístroje, který je v maximální míře 12° ve všech čtyřech směrech (vlevo, vpravo, vpřed, vzad). [2]

2.5.2 Technické údaje přístroje Balance Trainer

| Balance Trainer | |
|----------------------------|--------------------------|
| Délka | 118 cm |
| Šířka | 78 cm |
| Výška terapeutického stolu | 95 až 125 cm |
| Váha | 71,6 kg |
| Rozsah pohybu | 0° až 12° |
| Vhodné pro pacienty s | |
| - výškou | 150 až 200 cm |
| - váhou | až 140 kg |
| Použité materiály | hliník, ocel, polyuretan |
| Elektrický zvedací systém | |
| Napájecí napětí | 230 V~, 50/60 Hz |
| Spotřeba energie | 250 VA |
| Okolní podmínky provozu | 10°C až 35°C |

Obrázek 3. Technické údaje přístroje Balance Trainer [1]

3 SOUČÁSTI MĚŘICÍHO SYSTÉMU

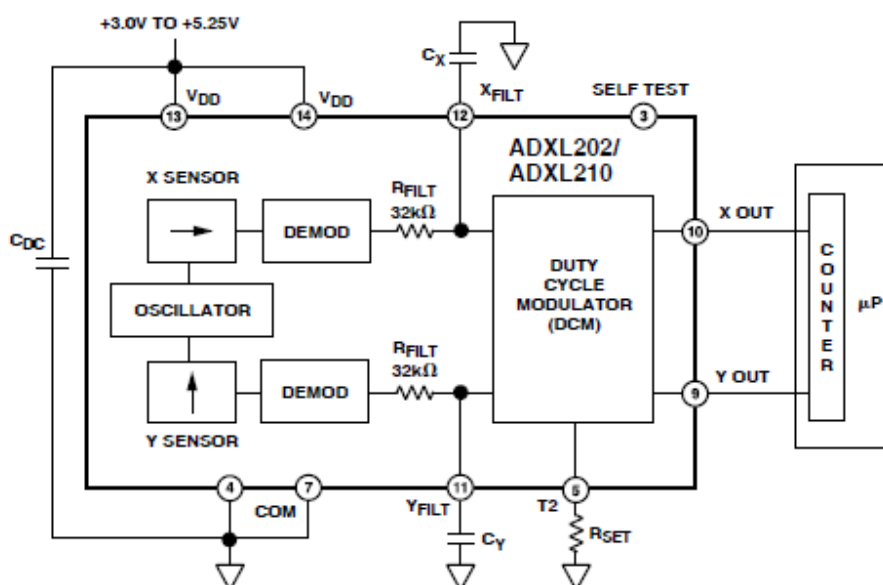
Navržený systém používá pro získávání informace o náklonu dvouosý akcelerometr ADXL202. Výstup akcelerometru ve formě pulsně šířkové modulace (PŠM) signálu je zpracován pomocí mikrokontroléru ATmega162. Mikrokontrolér získaná data vyhodnocuje a následně zobrazuje na grafický displej ATM12864D. Současně se zobrazením jsou hodnoty o náklonu posílány pomocí sériového kanálu přes rozhraní RS-232.

3.1 Akcelerometr ADXL202

Jedná se o dvouosý akcelerometr umístěný v jednom integrovaném obvodu s pouzdem QC-14. Je určen pro statické (gravitace) a dynamické (vibrace) měření akcelerace.

Použití snímače:

- dvouosé měření náklonu,
- inerciální navigace,
- zabezpečovací systémy vozidel,
- měření otřesů,
- baterií napájené snímače pohybu,
- počítačové periferie.



Obrázek 4. Struktura snímače ADXL202 [5]

Výstupem snímače je buď digitální signál s pulsně šířkovou modulací (PWM) nebo analogový signál.

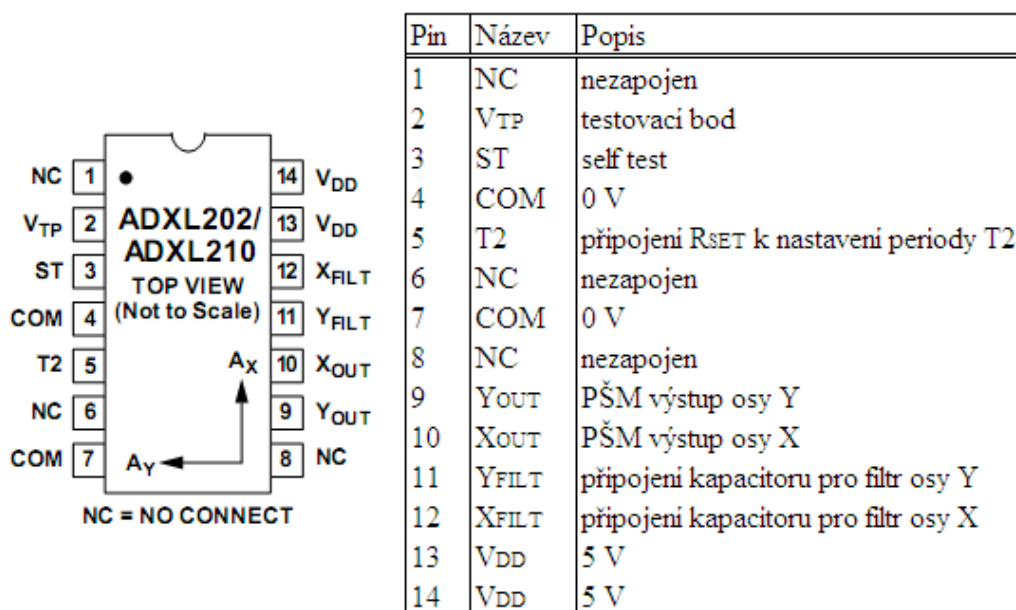
Akcelerometr je napájen napětím o velikosti 3 V nebo 5 V. Teplotní rozsah použití je v rozmezí 0÷70 °C.

| | |
|---------------------------|------------------------------------|
| MĚŘICÍ ROZSAH | $\pm 2 \text{ g}$ |
| CITLIVOST | |
| PŠM na g | 12,5 %/g |
| napěťový výstup | 312 mV/g |
| HODNOTA VÝSTUPU PŘI 0 g | |
| 0 g PŠM | 50 % |
| 0 g napěťový výstup | 2,5 V |
| HODNOTA ŠUMU | 200 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ |

Obrázek 5. Parametry akcelerometru ADXL202 [5]

3.1.1 Popis funkce pinů a názvosloví ADXL202

Na Obrázku 6 je znázorněno rozložení pinů akcelerometru ADXL202 spolu se základním popisem funkcí jednotlivých pinů.

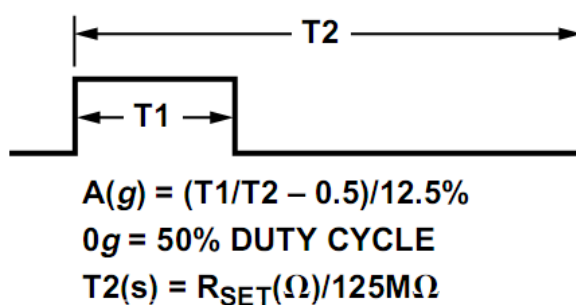


Obrázek 6. Konfigurace pinů akcelerometru ADXL202 [5]

3.1.1.1 Názvosloví

Popis důležitých názvů potřebných pro práci s akcelerometrem ADXL202:

- T1 – délka kladné části periody.
T2 – délka celé periody.
Střída – poměr kladné části periody ku celkové délce periody.
Definovaný jako T1/T2.
Šířka pulsu – doba kladného pulsu. Definovaná jako T1.



Obrázek 7. Typický výstup střídý signálu [5]

3.1.1.2 Popis vývodů akcelerometru

- V_{DD}** - Akcelerometr má dva napájecí piny (V_{DD}). Na tyto piny se připojuje napájení 5 V.
- COM** - Na piny COM se připojuje napětí o velikosti 0 V.
- V_{TP}** - Testovací bod, který se nezapojuje.
- ST** - Pin sloužící k self-test funkci. Touto funkcí se zjišťuje, zda je akcelerometr funkční. Připojením tohoto pinu k napájení V_{DD} se na digitálním výstupu vygeneruje změna střídý o 10% (to odpovídá 0,8 g).
- T2** - Připojením rezistoru R_{SET} k tomuto pinu se nastavuje perioda T2.
- X_{OUT}, Y_{OUT}** - Digitální výstupy zprostředkovávající informaci o velikosti zrychlení osy X resp. Y ve formě PŠM.

X_{FILT} , Y_{FILT} - Analogové výstupy, jejichž výstupní napětí je úměrné velikosti zrychlení dané osy.

3.1.2 Nastavení parametrů akcelerometru

Pro správnou funkci akcelerometru je zapotřebí nastavit parametry výstupního signálu, kterými jsou: perioda opakování a šířka pásma.

3.1.2.1 Perioda opakování

Periodou opakování se myslí velikost doby cyklu T_2 (perioda střídání). Perioda střídání se nastavuje pro oba kanály akcelerometru (osa X, osa Y) současně pomocí jediného rezistoru R_{SET} .

Rovnice pro výpočet periody je následující:

$$T_2 = \frac{R_{SET} (\Omega)}{125 M\Omega} \quad (1)$$

, kde $125 M\Omega$ je hodnota rezistoru integrovaného v akcelerometru.

Pro nastavení frekvence, resp. periody 1 kHz, resp. 1 ms se jako R_{SET} použije rezistor o velikosti $125 k\Omega$. Akcelerometr je navržen tak, že umožňuje nastavení periody střídání v rozmezí 0,5 ms až 10 ms. Rezistor R_{SET} musí být připojen i v případě, kdy se používá pouze analogový výstup z vývodu X_{FILT} nebo Y_{FILT} .

3.1.2.2 Šířka pásma

Nastavení šířky pásma se provádí pomocí kondenzátorů C_X , C_Y připojených na piny X_{FILT} , Y_{FILT} . Tyto kondenzátory v kombinaci s interním rezistorem R_{FILT} vytvářejí dolnoproustní filtr pro antialiasing a redukci šumu. Šířka pásma F se vypočítá pomocí rovnice (2).

$$F = \frac{1}{2\pi \cdot 32k\Omega \cdot C_{(X,Y)}} \quad (2)$$

Hodnota interního rezistoru $R_{FILT} = 32k\Omega$. Například pro šířku pásma 50 Hz je zapotřebí připojit kondenzátory o velikosti 0,1 μF .

3.1.3 Výpočet hodnoty náklonu

Akcelerometr používá gravitační sílu jako vstupní vektor k určení orientace objektu vůči zemskému povrchu. Při poloze akcelerometru, kdy je kolmý na směr gravitační síly, je hodnota zrychlení akcelerometru 0 g. Této hodnotě odpovídá hodnota střídý 50 %. Pootočením akcelerometru o 90° (paralelně s gravitační silou) se změní výstupní hodnota zrychlení akcelerometru o 1 g, což odpovídá změně střídý o 12,5 %.

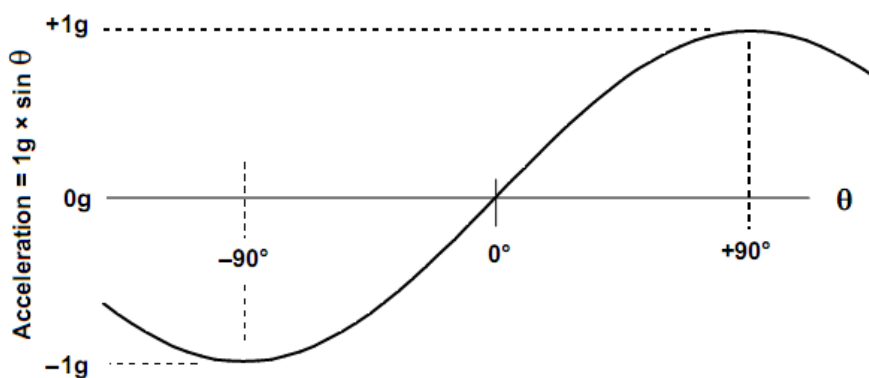
Hodnota zrychlení akcelerometru A se vypočítá jako rozdíl střídý výstupního signálu a hodnoty střídý v poloze 0 g (50 %). Tento rozdíl je podělen hodnotou citlivosti osy akcelerometru (12,5 %). [5]

$$A(g) = \frac{\frac{T1}{T2} - 0,5}{12,5\%} \quad (3)$$

Hodnota náklonu v úhlech ze známé hodnoty zrychlení se vypočítá pomocí převodní funkce arkus sinus podle rovnice (4).

$$NÁKLON = \arcsin(A) \quad (4)$$

Hodnotě zrychlení 0 g odpovídá hodnota 0° náklonu. Zrychlení ± 1 g odpovídá náklonu v hodnotám $\pm 90^\circ$. Tato skutečnost je zobrazena na následujícím obrázku.



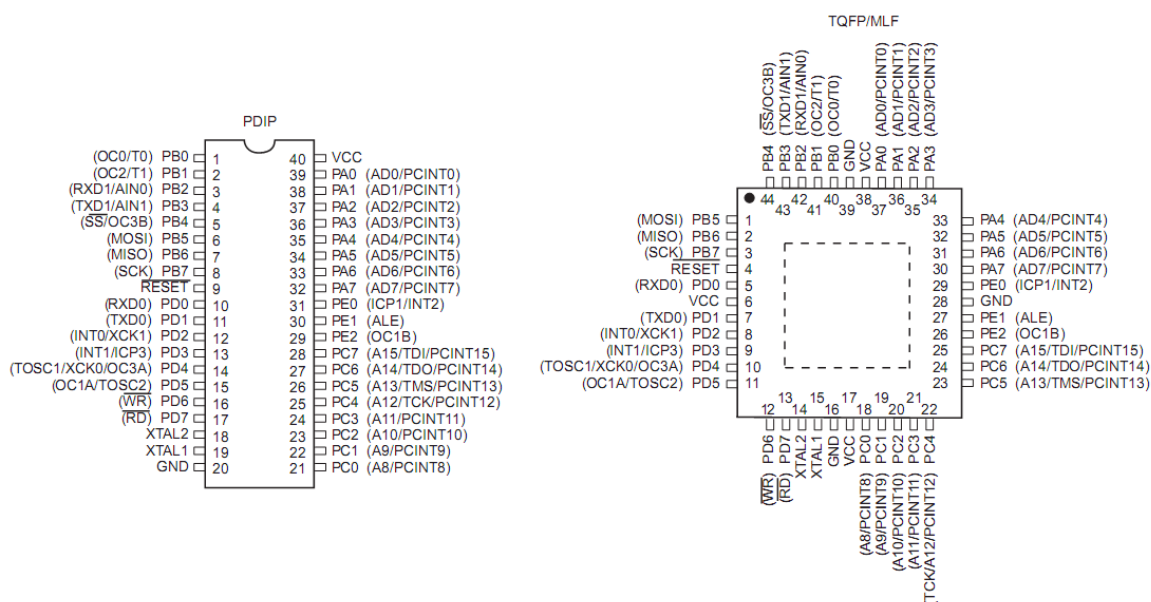
Obrázek 8. Převod hodnoty zrychlení v g na úhel naklonění [6]

3.2 Mikrokontrolér ATmega162

Mikrokontrolér ATmega162 je 8bitový mikrokontrolér s architekturou RISC. Instrukční sada obsahuje 131 instrukcí, kde většina z nich se vykonává po dobu jednoho strojového cyklu. Doba jednoho strojového cyklu je rovna jedné periodě oscilátoru. Paměť programu Flash má velikost 16 kB, EEPROM paměť 512 B. Maximální frekvence připojeného krystalového oscilátoru je 16 MHz. Napájecí napětí je v rozmezí 2,7 - 5,5 V.

Pro komunikaci s okolím obsahuje 35 programovatelných vstupně/výstupních linek. Disponuje dvěma 8bitovými a dvěma 16bitovými čítači/časovači. 16bitové čítače umožňují funkci záchytného režimu (Input Capture). Dále obsahuje šest PŠM kanálů, dva programovatelné sériové kanály USART, sériové rozhraní SPI, analogový komparátor.

Mikrokontrolér má celkem pět režimů snížené spotřeby a obsahuje 28 zdrojů přerušení (reset, vnější přerušení, přerušení od časovačů atd.). [4]



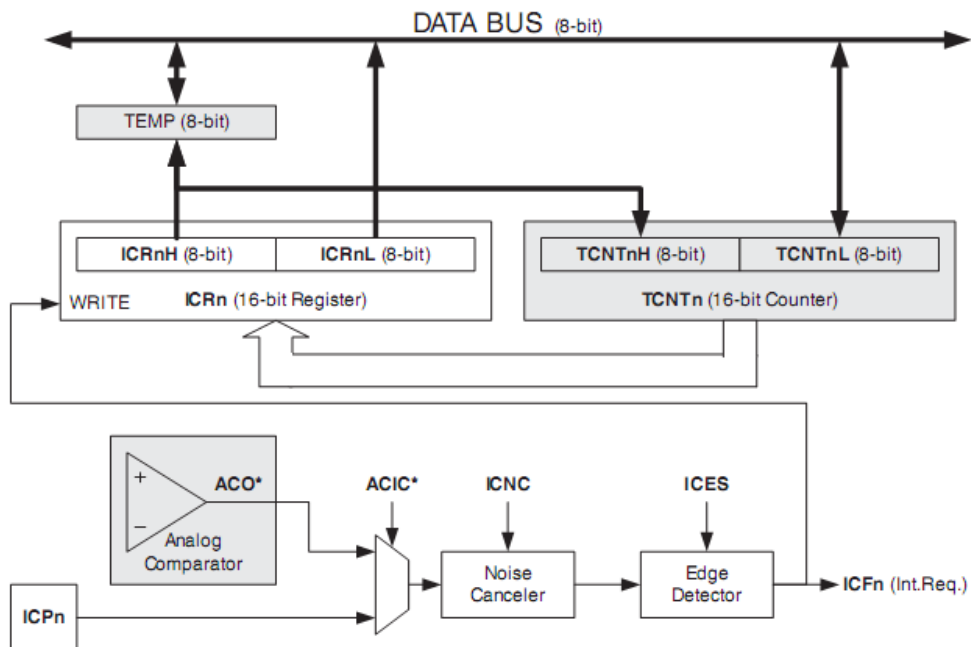
Obrázek 9. Mikrokontrolér ATmega162 [4]

3.2.1 Jednotka Input Capture

Jednotka Input Capture je součástí 16bitového časovače/čítače 1 a 3. Tato jednotka dokáže zachytávat externí události a přiřadit jim časovou značku indikující čas výskytu. Externí signál indikující událost je připojen na pin ICP_n, kde *n* je číslo použitého 16bitového čítače. Časová značka se používá pro výpočet frekvence nebo střidy signálu.

Nastane-li změna logické úrovně na pinu Input Capture (ICP_n) a odpovídá-li tato změna nastavení hranového detektoru, spustí se zachytávání hodnoty. Je-li zachytávání spuštěno, 16bitová hodnota čítače (TCNT_n) je zapsána do registru Input Capture (ICR_n). V případě, že je pomocí registru TICIEn povoleno přerušení, generuje se přerušení od jednotky Input Capture.

Pro měření střidy externího signálu je zapotřebí, aby zachytávání probíhalo při každé hraně signálu. Po každé přichodí hraně signálu se uloží hodnota záchytného registru ICR_n a následně se změní nastavení hranového detektoru. Když bylo zachytávání spuštěno pomocí náběžné hrany, detektor se změní na spouštění sestupnou hranou signálu. Změna výběru hrany pro spouštění se děje pomocí bitu ICES_n.



Obrázek 10. Blokový diagram jednotky Input Capture [4]

3.2.2 Sériový kanál USART

Mikrokontrolér disponuje dvěma sériovými kanály USART umožňující plně duplexní komunikaci. Kanály podporují přenos sériového rámce s 5 až 9 datovými bity a jedním nebo dvěma stop bity. Podporuje generování parity, ověřování parity a detekci chyby rámce.

Nastavení sériového kanálu se provádí pomocí datového registru UDR a řídicích registrů UBRR, UCSRB a UCSRC. Přenosová rychlost se nastavuje pomocí registru UBRR následovně:

$$UBRR = \frac{f_{osc}}{16 \cdot \text{prenosová rychlost}} - 1. \quad (5)$$

Registr UCSRB povoluje přijímání a odesílání dat, registr UCSRC nastavuje formát rámce.

3.3 Grafický displej ATM12864D

Displej ATM12864D je čistě grafický displej s absencí znakové sady, který obsahuje dva řadiče KS0107B. Znakovou sadu je nutné externě vytvořit. Velikost rozlišení tohoto displeje je 128x64 pixelů. Každý pixel odpovídá jednomu datovému bitu v paměti Display Data RAM (DDRAM), která má velikost 128x64 bitů. Displej je rozdělen do dvou stejně velikých polovin o rozměru 64x64 pixelů a každá polovina má svůj vlastní řadič. Pomocí paralelní 8bitové sběrnice komunikuje s mikrokontrolérem. Komunikace se skládá z řídicích vývodů D/I, R/W, E, CS1, CS2, RST; osmi datových vývodů DB0 až DB7 a napájecích vývodů VSS, VDD, V0, VEE, A, K. Popis jednotlivých vývodů je na následující tabulce. [3]

| PIN | SYMBOL | POPIS |
|-----|--------|---------------------|
| 1 | GND | 0 V |
| 2 | VCC | +5 V |
| 3 | V0 | LCD napájení |
| 4 | D/I | Data/Instrukce |
| 5 | R/W | Čtení/Zápis |
| 6 | E | Povolení |
| 7 | DB0 | Datový bit |
| 8 | DB1 | Datový bit |
| 9 | DB2 | Datový bit |
| 10 | DB3 | Datový bit |
| 11 | DB4 | Datový bit |
| 12 | DB5 | Datový bit |
| 13 | DB6 | Datový bit |
| 14 | DB7 | Datový bit |
| 15 | CS1 | Výběr řadiče |
| 16 | CS2 | Výběr řadiče |
| 17 | RST | Reset |
| 18 | VEE | Nastavení kontrastu |
| 19 | A | Anoda podsvícení |
| 20 | K | Katoda podsvícení |

Tabulka 2. Tabulka vývodů LCD displeje [3]

3.3.1 Vývody displeje ATM12864D

Vývody LCD displeje ATM12864D lze rozdělit do tří skupin: napájecí, řídicí a datové.

3.3.1.1 Napájecí vývody

Vývody VDD a VSS slouží pro napájení LCD displeje, kde VDD je kladné napětí 5 V a VSS je 0 V. Pro nastavení kontrastu displeje se používají vývody V0 a VEE. Pro nejjednodušší nastavení kontrastu se tyto dva vývody propojí. Zbylé vývody ovládají podsvícení displeje. Vývod A slouží jako anoda podsvětlovací LED diody a je připojen na 5 V. Katoda K tudíž musí být připojena na 0 V.

3.3.1.2 Datové vývody

Pro příjem a odesílání dat nebo instrukcí slouží osm paralelních datových vývodů DB0 až DB7. Zda se na těchto vývodech vyskytují data či instrukce určuje vývod D/I (data/instrukce), o rozlišení čtení a zápisu se stará vývod R/W (čtení/zápis).

3.3.1.3 Řídicí vývody

Vývod D/I určuje, zda datové piny reprezentují data nebo instrukce. Je-li D/I v logické 1, jedná se o data, v opačném případě jde o instrukce.

R/W rozlišuje, zda se na displej zapisuje nebo se z něj čte. Logická 1 znamená čtení, logická 0 pak zápis.

Vývody CS1, CS2 určují, se kterou polovinou displeje se bude pracovat. Aktivace levé nebo pravé části displeje se provádí přivedením logické 1 na vývod CS1, resp. CS2. Lze také pracovat s oběma polovinami najednou (CS1 i CS2 v logické 1). V tomto případě se data zapisují do obou polovin displeje současně. Vypisovaná data jsou duplicitní.

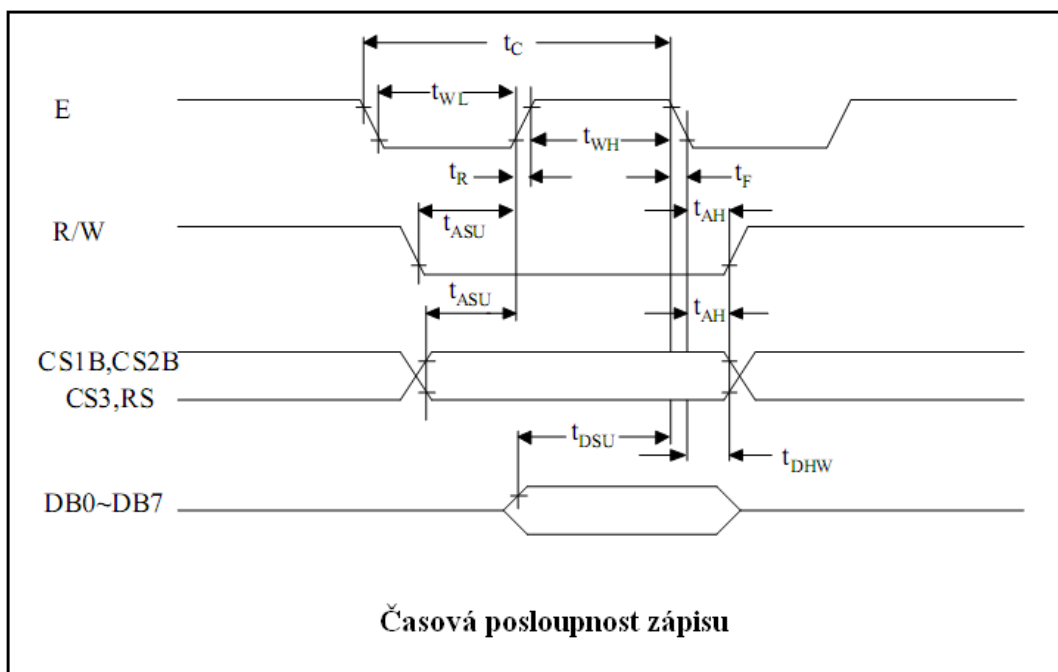
Vývodem RST se provádí vypnutí displeje a nulování interních registrů. V tomto případě není vývod používán a je připojen na logickou 1.

Vývod E reprezentuje řídicí hodinový signál.

3.3.2 Časování displeje ATM12864D

Pro správnou funkci LCD displeje je velice důležité dodržet správné časování na vývodech displeje při čtení nebo zápisu dat či instrukcí. Musí se dodržet posloupnost úkonů, které vedou ke správné reprezentaci daného pokynu.

Časování lze ukázat na zápisu do sběrnice displeje. Prvním krokem k zápisu je přivedení log. 1 na vývod E. Tento stav musí trvat minimálně 450 ns. Poté můžeme nastavit řídicí bity displeje, kterými jsou R/W, CS1, CS2 a D/I. Těmito bity určíme, zda se jedná o data či instrukce a se kterou částí displeje se bude pracovat. Poté můžeme na datovou sběrnici DB přivést požadovaná data. Toto vše se musí učinit před příchodem kladného impulsu na E, který opět musí trvat nejméně 450 ns. Pokud se tak nestane, může dojít k náhodnému zápisu dat do té části displeje, se kterou se momentálně nepracuje. Data se pak stávají platnými při sestupné hraně vývodu E.



Obrázek 11. Časová posloupnost zápisu do ATM12864D [3]

3.3.3 Řídící instrukce displeje

Řídící instrukce ovládají vnitřní stavy řadiče KS0107B umístěného v displeji. Pro ovládání displeje jsou instrukce odesílány z mikrokontroléru do řadiče. Pro ovládání displeje se používají instrukce pro inicializaci displeje, čtení a zápis dat, nastavování pozice na displeji a čtení stavového slova.

| Instrukce | D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 | Funkce |
|---------------------------------|-----|-----|-----------|-----|-------------------------|-------|-----|--------------|-----|-----|--|
| čtení displeje | 1 | 1 | čtení dat | | | | | | | | čtení dat z displeje do datové sběrnice |
| zápis na displej | 1 | 0 | zápis dat | | | | | | | | zápis dat do DDRAM; po instrukci zápisu, automatické zvýšení X adresy o 1 |
| čtení statusu | 0 | 1 | Busy | 0 | on/off | reset | 0 | 0 | 0 | 0 | čtení interních příznaků: BUSY 0: připraven 1: zaneprázdněn ON/OFF 0: displej zapnut 1: displej vypnut RESET 0: normální 1: reset |
| nastavení adresy X (adresa x) | 0 | 0 | 0 | 1 | X adresa (0-63) | | | | | | nastavení adresy X; číslo sloupce |
| nastavení START LINE (adresa Y) | 0 | 0 | 1 | 1 | posuv ve směru Y (0-63) | | | | | | nastavení adresy Y; posun na ose Y |
| nastavení stánky | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | stánka (0-7) | | | bráno shora |
| displej zap/vyp | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0/1 | 1: zapínání displeje |

Obrázek 12. Instrukce pro ovládání displeje ATM12864D

3.3.3.1 Zapínání/vypínání displeje

Instrukce pomocí níž se vypíná nebo zapíná displej. Tato instrukce neovlivňuje data uložená v DDRAM ani stavové slovo. Ačkoliv nejsou data zobrazena na obrazovce (D=0), zůstávají v paměti DDRAM. Zobrazení dat se provádí změnou z D=0 na D=1. Tudiž se bitem D ovládá vypínání (D=0) a zapínání displeje (D=1).

zapnutí/vypnutí displeje

| D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | D |

Obrázek 13. Instrukce zapínání/vypínání displeje

Pro provedení této instrukce je nutné, aby se správně nastavili vývody LCD displeje pomocí mikrokontroléru podle Obrázek 13. Přivedením log. 0 na vývod D/I znamená, že jde o instrukci; R/W=0, že se jedná o zápis. Datové bity DB1 až DB7 charakterizují instrukci zapínání displeje a volbou bitu D určujeme, zda bude vypnut (log. 0) nebo zapnut (log. 1).

3.3.3.2 Nastavení adresy X

Adresa X udává, na kterou pozici v ose X se bude zapisovat nebo číst. Adresa X odpovídá číslo sloupce od začátku displeje. Jelikož se pracuje s oběma částmi displeje odděleně, je rozsah X adresy 0 až 63. Každou instrukcí zápisu nebo čtení dat se adresa X automaticky zvýší o 1.

Nastavení adresy X se provádí přivedením log. 0 na vývod D/I a R/W. Dva nejvyšší datové bity DB7=0, DB6=1 charakterizují nastavení adresy X a pomocí zbylých datových bitů DB0-DB5 se nastavuje aktuální pozice adresy X.

| nastavení adresy X | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | AC5 | AC4 | AC3 | AC2 | AC1 | AC0 |

Obrázek 14. Instrukce nastavení adresy X displeje

3.3.3.3 Nastavení adresy Y

Adresa Y značí hodnotu, o kterou se posune výpis na ose Y. Adresa Y s hodnotou nula výpis neposouvá, avšak hodnota jedna už posune celý výpis o jeden řádek výše.

Řídící bity D/I a R/W jsou nastaveny na log. 0. Datové bity DB7 a DB6 jsou nastaveny na log. 1 a dalších 6 datových bitů udává velikost posunu výpisu na ose Y.

| nastavení adresy Y | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | AC5 | AC4 | AC3 | AC2 | AC1 | AC0 |

Obrázek 15. Instrukce nastavení adresy Y displeje

3.3.3.4 Nastavení stránky

Stránkou se rozumí osmice pixelů pod sebou. Displej obsahuje 64 řádků, tudíž je zde osm stránek.

Adresa stránky, na kterou se zapisují data, se nastavuje pomocí bitů D/I=0, R/W=0. Pro instrukci nastavení stránky se nastavují datové byty DB3-DB7 podle Obrázek 16. Číslo stránky se pak zadá pomocí datových bitů DB0-DB2 v rozmezí 0 až 7.

| nastavení stránky | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | AC2 | AC1 | AC0 |

Obrázek 16. Instrukce nastavení stránky displeje

3.3.3.5 Čtení stavového slova

Stavové slovo obsahuje tři příznaky, kterými jsou informace o zaneprázdnění řadiče displeje, vypnutí či zapnutí displeje a zda právě probíhá reset displeje.

Příznak BUSY v log. 1 znamená, že řadič v danou chvíli vykonává interní operaci a je zaneprázdněn. V tomto okamžiku nepřijímá další instrukce. Logická hodnota 0 indikuje připravenost řadiče přijímat a vykonávat instrukce.

Příznak ON/OFF oznamuje, zda je displej vypnut či zapnut: log. 1 = zapnuto; log. 0 = vypnuto.

Při právě probíhajícímu resetu LCD displeje je příznak RESET v log. 1 a po dokončení resetu se tento příznak vynuluje.

Jedná se o čtení stavového slova a tudíž je vývod R/W nastaven na log. 1. Stále se jedná o instrukce, nikoliv data tzn., že vývod D/I = 0. Poté lze z datových bitů vyčíst příslušné příznaky: DB7~BUSY; DB5~ON/OFF; DB4~RESET.

| čtení stavového slova | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|------|-----|---------|-------|-----|-----|-----|-----|
| D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
| 0 | 1 | busy | 0 | zap/vyp | reset | 0 | 0 | 0 | 0 |

Obrázek 17. Instrukce čtení stavového slova displeje

3.3.3.6 Zápis dat

Tato instrukce zapisuje data do DDRAM paměti displeje. Po dokončení každé instrukce zápisu dat se hodnota adresy X automaticky zvýší o 1.

Tentokrát se jedná o data a jejich zápis, z toho vyplývá i nastavení vývodů. Vývod D/I = 1, R/W = 0 a datové vývody DB0-DB7 obsahují data, která chceme zobrazit. Osm datových vývodů odpovídá osmi pixelům (stránce) pod sebou na adrese X, které se rozsvěcují a zhasínají pomocí kombinace na datových vývodech. Logická 1 odpovídá rozsvícení, logická 0 na vývodu naopak zhasnutí daného pixelu. Zápis probíhá tak, že nejvýznamnější bit datových vývodů odpovídá spodnímu pixelu dané osmice. Ekvivalentně rozsvícení či zhasnutí nejhornějšího pixel dané osmice závisí na hodnotě nejméně významného bitu datových vývodů.

zápis dat

| D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 |

Obrázek 18. Instrukce pro zápis dat na displej

3.3.3.7 Čtení dat

Někdy je zapotřebí zjistit, jaká data se vyskytují na displeji. K tomu slouží instrukce, která načítá data z DDRAM paměti do datové sběrnice DB. Instrukce poskytuje na vývodech DB0-DB7 hodnoty osmice pod sebou umístěných pixelů na nastavené adrese X.

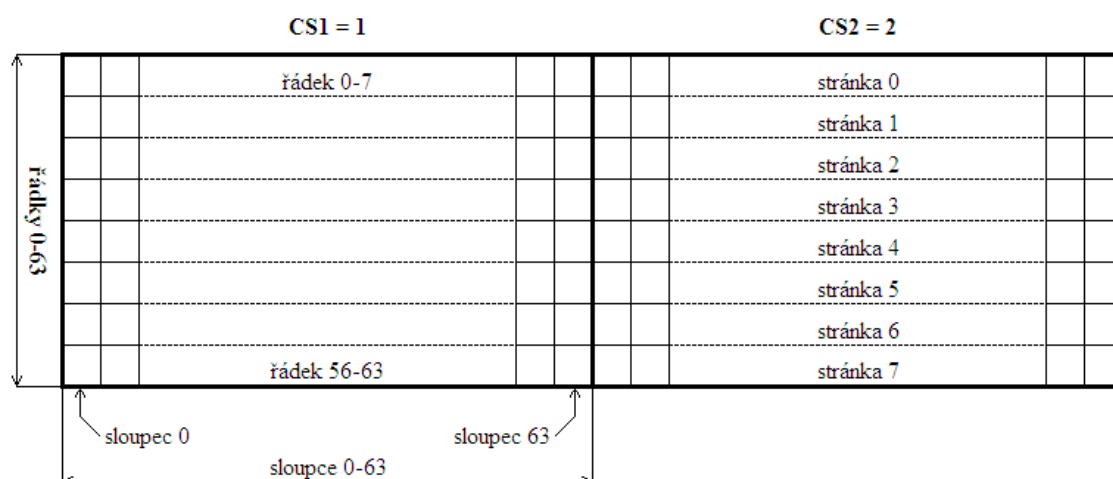
Nastavení řídicích vývodů je patrné z Obrázek 19 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

čtení dat

| D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 1 | D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 |

Obrázek 19. Instrukce čtení dat z paměti DDRAM displeje

Pro lepší orientaci v pojmech stránka, řádek a sloupec je k dispozici Obrázek 20, který názorně vysvětluje dané názvosloví.



Obrázek 20. Rozdělení displeje na řádky, sloupce a stránky

4 ZAPOJENÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU

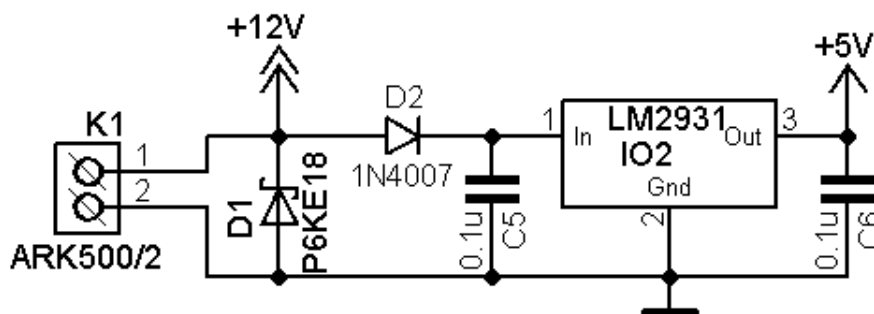
Jak bylo uvedeno výše, měřicí systém se skládá z akcelerometru ADXL202, který poskytuje údaje o naklonění ve formě digitálního signálu s pulsně šířkovou modulací. Signál je veden na vývody ICPn mikrokontroléru ATmega162, kde se pomocí jednotek Input Capture tento signál zachytává a je vyhodnocován.

K zobrazení údajů o náklonu je použit grafický LCD displej ATM12864D, který je pomocí řídicích a datových signálů ovládán mikrokontrolérem.

4.1 Napájení

Mikrokontrolér, akcelerometr i LCD displej potřebují ke svému provozu napětí o velikosti 5 V. Především akcelerometr klade požadavky na co nejpřesnější a stabilní hodnotu napájecího napětí. Toto napětí je získáno z výstupu stabilizátoru LM2931AC.

Stabilizátor je použit jako zdroj pevného napětí 5 V a podle toho je uzpůsobeno jeho zapojení. Zapojení je shodné s doporučeným zapojením od výrobce. Na vstupní pin a zem je připojeno vstupní napětí 12 V připojené na svorkovnici K1 přes kondenzátor C5, jehož velikost je 100 nF. Výstupem je pak napětí 5 V, které je použito jako napájecí napětí pro ostatní součástky zařízení. Dioda D1 slouží jako ochrana proti vysokému napětí. Dioda D2 jako ochrana proti prepólování.



Obrázek 21. Zapojení stabilizátoru LM2931

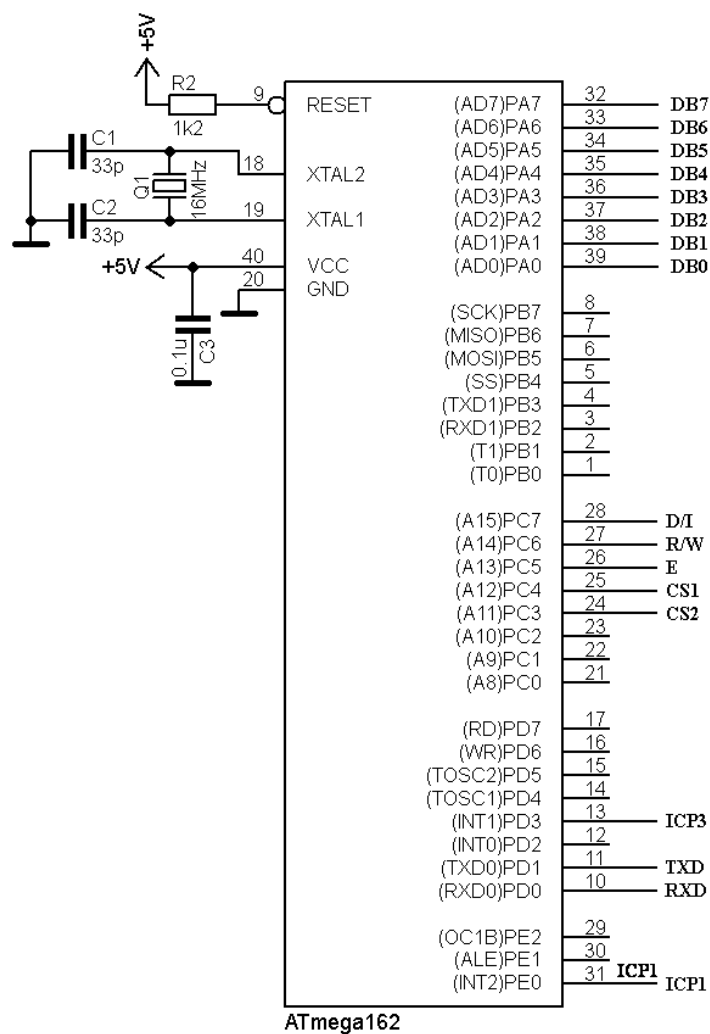
4.2 Zapojení mikrokontroléru ATmega162

Mikrokontrolér je napájen pomocí napětí o velikosti 5 V. Toto napětí je přivedeno na vývod VCC, vývod GND je připojen na 0 V. Ošetření vývodu RESET je provedeno pomocí odporu R2, který je připojen na kladné napětí 5 V. Zdrojem pro systémové hodiny je externě připojený krystalový oscilátor. Hodnota krystalového oscilátoru je 16MHz a je připojen mezi vývody XTAL1 a XTAL2. Vývody mikrokontroléru pro oscilátor jsou poté připojeny na 0 V přes kondenzátory C1 a C2.

Mikrokontrolérem se ovládá LCD displej pomocí datových bitů DB displeje, které jsou připojeny k portu PA mikrokontroléru, kdy nejvýznamnější bit portu PA (PA7) odpovídá nejvýznamnějšímu bitu DB sběrnice (DB7). Řídící bity displeje jsou připojeny na port PC. Bity D/I, R/W, E, CS1, CS2 jsou v tomto pořadí připojeny postupně od pinu PC7 k pinu PC3.

Signály vysílané akcelerometrem jsou připojeny k pinům jednotek Input Capture. Signál nesoucí informaci o ose X je přiveden na pin ICP1, který je jednou z alternativ pinu PE0. Stejným způsobem je připojen k pinu IPC3 signál s údaji o ose Y, který je alternativou pinu PD3.

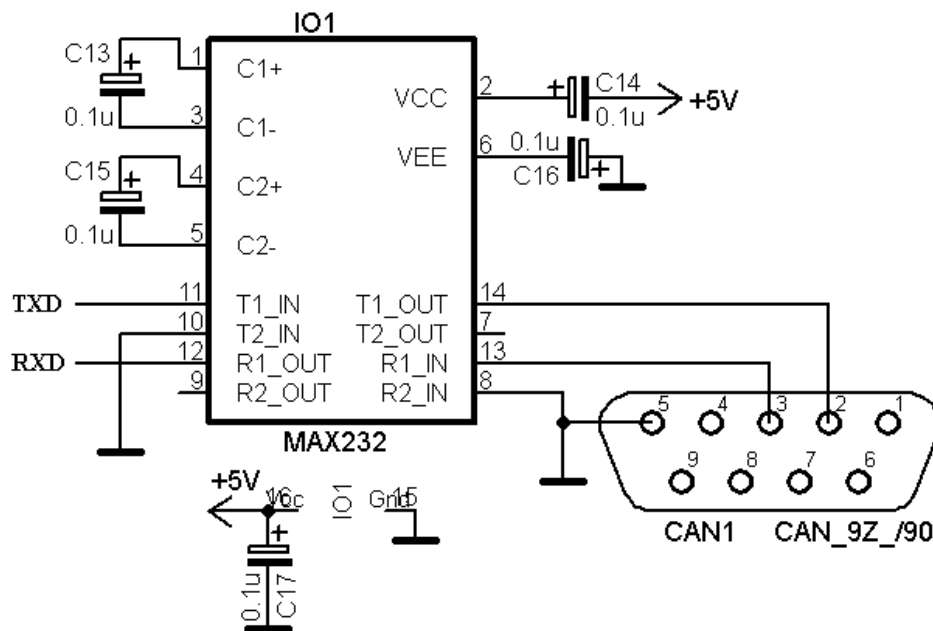
Pro poskytnutí zpracovaných údajů k dalším účelům, jsou tyto hodnoty posílány pomocí sériového kanálu na součástku MAX232, která převádí logiku TTL na logiku pro rozhraní RS-232 a naopak. Pro vysílání dat je použit sériový kanál 0 (USART0). Vysílaná data (TXD0) jsou připojena na pin PD1 a přijímaná data (RXD0) na pin PD0.



Obrázek 22. Zapojení mikrokontroléru ATmega162

4.3 Sériový kanál

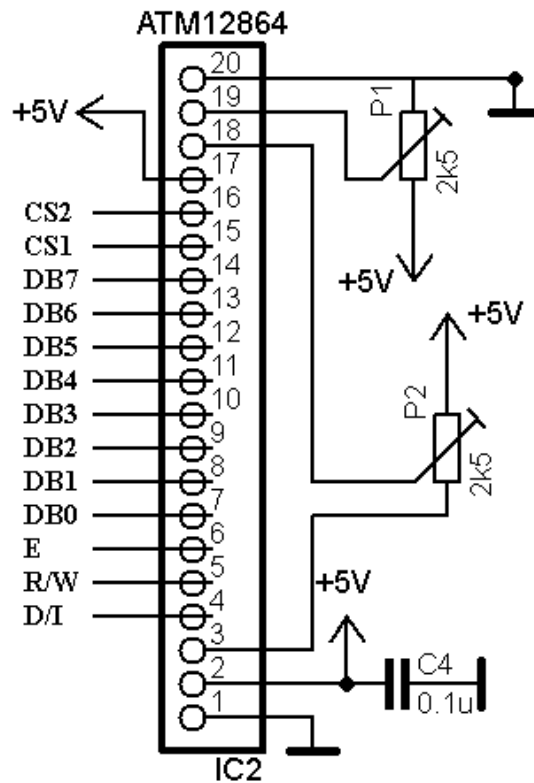
Informace o náklonu akcelerometru lze odesílat pomocí sériového kanálu USART0. Tento kanál používá piny PD0 (RXD0) a PD1 (TXD0) mikrokontroléru. Tyto vývody jsou připojeny k převodníku MAX232, který převádí logické úrovně TTL na úrovně pro rozhraní RS-232 a naopak. Na výstup převodníku je pak připojen devíti pinový konektor CAN9.



Obrázek 23. Zapojení převodníku MAX232

4.4 Zapojení grafického LCD displeje ATM12864D

Datové a řídicí vývody displeje ATM12864D jsou připojeny k výstupním pinů mikrokontroléru ATmega162. Datové bity DB0-DB7 jsou připojeny na port PA, piny PA0-PA7. Řídicí bity jsou připojeny k portu PC podle Obrázek 24. Dioda pro podsvícení displeje je ovládána vývody číslo 19 (anoda) a 20 (katoda). Anoda diody je připojena na 5 V, katoda na 0 V. Pro regulaci podsvětlení je připojen trimr P1. Nastavení kontrastu displeje se provádí pomocí trimru P2, který je připojen mezi vývody VEE (číslo pinu = 19) a V0 (číslo pinu = 3). Napájení displeje (5 V) se přivádí na pin VCC (číslo 2), pin GND (číslo 1) je připojen na 0 V.



Obrázek 24. Zapojení grafického displeje ATM12864D

4.5 Zapojení akcelerometru ADXL202

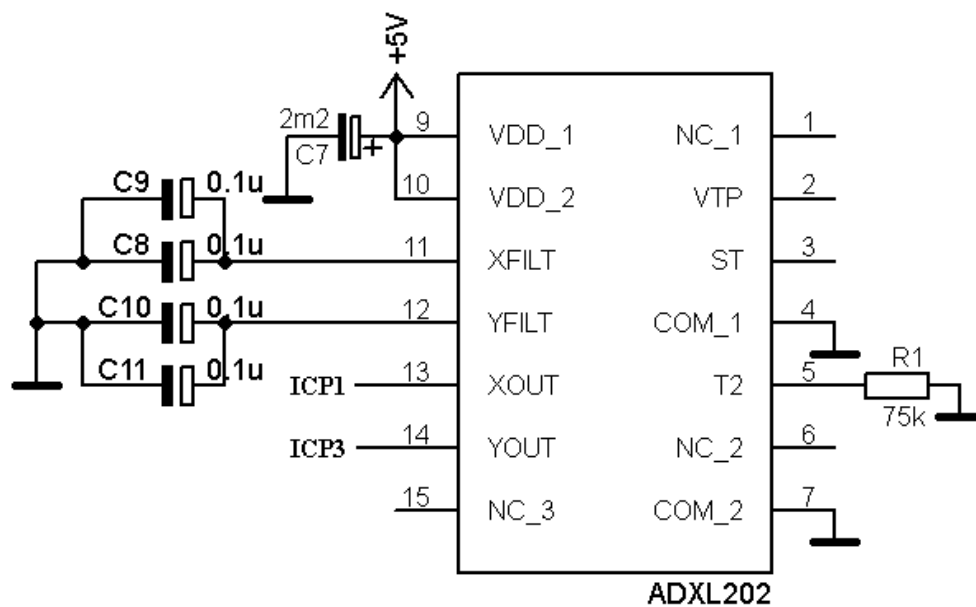
Správné zapojení akcelerometru ADXL202 je velmi důležitým faktorem pro přesnost výstupních hodnot a tudíž má veliký vliv na přesnost vyhodnocení náklonu. Nejdůležitější na zapojení akcelerometru je volba vhodných hodnot součástek, které nastavují parametry výstupů z akcelerometru.

Napájecí napětí akcelerometru má velikost 5 V a je připojeno na piny V_{DD} (5 V) a COM (0 V). Velmi důležité je připojení filtračního kondenzátoru o dostatečně velké kapacitě. Filtrační kondenzátor má hodnotu $C7 = 2,2mF$.

Nastavení velikosti periody výstupního digitálního signálu T2 se děje pomocí rezistoru R1, který je připojen jedním vývodem na pin T2 akcelerometru a druhým na 0 V. Pro výpočetní potřeby mikrokontroléru se nastavila perioda signálu na hodnotu 0,6 ms pomocí rezistoru $R1 = 75k\Omega$.

Ikdyž analogové výstup X_{FILT} a Y_{FILT} nejsou použity, je nutné k nim připojit kondenzátory C8 – C11. Tyto kondenzátory mají vliv na potlačení šumu, proto jsou použity kvalitní tantalové kondenzátory o velikosti $0,47\mu F$. Kapacita kondenzátorů C8, C9 a C10, C11 se sčítá a výsledná hodnota kondenzátorů X_{FILT} , Y_{FILT} je $0,94\mu F$.

Digitální výstupy X_{OUT} a Y_{OUT} nesoucí informaci o náklonu osy X a Y jsou připojeny k mikrokontroléru na piny ICP1 a ICP3.

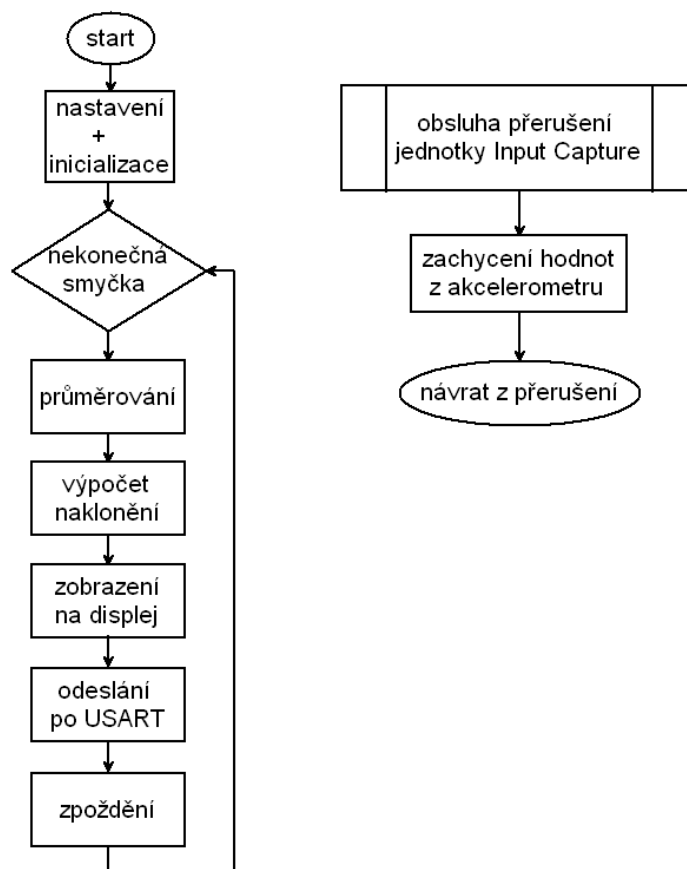


Obrázek 25. Zapojení akcelerometru ADXL202

5 PROGRAMOVÁ ČÁST

Program pro měření náklonu pomocí akcelerometru ADXL202 byl vytvořen ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR. Vývojové prostředí umožňuje psaní programu v jazyce C a současně vkládat kód v jazyce Assembler.

Vytvořený program se řídí podle následujícího vývojového diagramu.



Obrázek 26. Vývojový diagram programu pro měření náklonu

Následující část se bude zabývat popisem jednotlivých bloků, ze kterých se skládá navržený program.

5.1 Nastavení a inicializace

Na začátku programu je nutné provést základní nastavení registrů a provést inicializaci proměnných potřebných pro potřeby programu.

V programu jsou používány funkce, které jsou definovány v hlavičkových souborech, které je nutné k programu připojit. Připojují se soubory pro práci s mikrokontrolérem ATmega162, která definuje názvy pinů a registrů; pro převody mezi typy proměnných; pro práci se sériovým kanálem; soubor obsahující matematické funkce; hlavičkový soubor s funkcemi pro práci s displejem ATM12864D. Hlavičkový soubor s funkcemi pro ovládání displeje byl vytvořen speciálně pro tento typ displeje a obsahuje funkce pro nastavení stránky, adresy X, adresy Y kurzoru a funkci pro výpis dat na displej.

```
#include <mega162>
#include <delay>
#include <stdio>
#include <stdlib>
#include <math>
#include "lcd_header.h"
```

Obrázek 27. Připojení hlavičkových souborů

Jsou definovány proměnné pro výpočet hodnoty náklonu a její převod z datového typu float na typ char.

K portům PC a PA jsou připojeny vývody LCD displeje, pomocí nichž se daný displej ovládá. Tyto porty se nastavují jako výstupní ($DDRA = 0xFF$, $DDRC = 0xFF$) a jejich inicializační hodnota je nula ($PORTA = 0x00$, $PORTC = 0x00$).

Pomocí registru $ACSR = 0x80$ se vypne funkce analogového komparátoru a příkazem `#asm("sei")` se povolí globální přerušení.

5.2 Přerušení jednotky Input Capture

5.2.1 Nastavení jednotky Input Capture

Jednotka Input Capture slouží k zachytávání událostí přicházejících na pin ICPn. Mikrokontrolér ATmega162 má tyto jednotky dvě (ICP1, ICP3), proto se nabízí jejich použití pro měření střídy signálu, která udává hodnoty náklonu získané z akcelerometru. Každá jednotka používá vlastní 16bitový čítač/časovač, pro ICP1 je to čítač 1, pro ICP3 čítač 3.

Tato jednotka používá volně běžící registr TCNTn čítače/časovače. Pokud dojde ke změně úrovně signálu (hraně signálu), která odpovídá přednastavené hodnotě spouštění, je vyvoláno přerušení od příslušné jednotky Input Capture. Hodnota aktuálního stavu čítače je přepsána do záchytného registru ICRn.

Jednotky Input Capture jsou nastaveny tak, aby inkrementace registru čítače probíhala s frekvencí 16MHz, každý hodinový cyklus. Základním nastavením spouštěcí hrany je náběžná hrana. Toto nastavení se provádí pomocí registru $TCCRnB = 0x41$.

Povolení přerušení od jednotky Input Capture 1 a Input Capture 3 se provádí nastavením registru $TIMSK = 0x08$, resp. $ETIMSK = 0x20$.

5.2.2 Obsluha přerušení jednotky Input Capture

Hranou signálu (náběžnou, sestupnou) připojeného na pin ICPn program skočí na návěští obsluhy přerušení jednotky Input Capture.

Program v obsluze přerušení rozlišuje mezi skočením do přerušení pomocí náběžné nebo sestupné hrany. V případě náběžné hrany se vypočítává perioda celého signálu. Do proměnné *period_pole* se uloží aktuální hodnota čítače uložená v registru ICRn a odečte se od proměnné *start*, ve které se nachází hodnota ICRn uložená z předchozího vyvolání přerušení náběžnou hranou. Tímto způsobem je známa hodnota periody signálu T2. Po výpočtu hodnoty periody signálu se uloží aktuální hodnota čítače pro výpočet v příštím kroku a změní se hranový spouštěč z náběžné hrany na sestupnou.

Sestupnou hranou signálu se program dostává do druhé části obsluhy přerušení, než je tomu v případě náběžné hrany. Velikost kladné části pulsu T1 signálu se uloží do proměnné *pulse_pole*. Vypočítá se jako rozdíl aktuální hodnoty čítače v registru ICRn a hodnoty *start*, při které bylo vyvoláno přerušení pomocí náběžné hrany. Po výpočtu hodnoty pulsu se změní spouštěcí hrana ze sestupné na náběžnou.

Proměnné *pulse_pole* a *period_pole* jsou kruhovými zásobníky o počtu prvků rovných 25. To znamená, že po naplnění celého pole se další údaje budou zapisovat na začátek zásobníku. V proměnné *pulse_pole[]* a *period_pole[]* je tedy uloženo posledních 25 hodnot signálu.

5.3 Průměrování

Pro potlačení šumu, kterým je ovlivněn výstupní signál akcelerometru je použito průměrování posledních 25 naměřených hodnot signálu. Perioda signálu je nastavena pomocí rezistoru R1 na hodnotu 0,6 ms. Průměr je tedy počítán z posledních 15 ms.

Možností průměrování je několik. Klasický průměr, kdy výsledkem je součet všech hodnot podělený počtem vzorků. Váhové průměrování, kdy se využívá váhového koeficientu, který zvýhodňuje například hodnoty zachycené v dřívějším čase. Dalším způsobem může být výpočet střední hodnoty (mediánu), kdy se hodnoty seřadí podle velikosti a výsledkem je hodnota uprostřed daného souboru dat. Je také možno použít modus měřené veličiny, který představuje nejpočetnější výskyt hodnoty v souboru dat.

Výpočet průměru pomocí modusu a mediánu je výpočetně náročné a proto nejsou použity. V tomto případě je průměrná hodnota získána jako klasický průměr, kdy je výsledek součtem hodnot a vydělený počtem vzorků.

Program počítá zvlášť průměr proměnné *pulse_pole* a *period_pole*. Hodnota obou průměrů je uložena do proměnných typu float.

5.4 Výpočet náklonu

Digitálním výstupem z akcelerometru je signál, který prostřednictvím střidy udává velikost zrychlení A(g). Pomocí jednotky Input Capture je získána velikost periody signálu T2 a hodnota kladné části T1 tohoto signálu. Tyto hodnoty jsou po průměrování uloženy v proměnných *pulse_prumer* a *period_prumer*. Podělením těchto hodnot se získá střída signálu. Pro určení hodnoty zrychlení A(g), se od střidy odečte velikost střidy, která odpovídá hodnotě při zrychlení 0 g. Typicky je hodnota střidy při nulovém zrychlení rovna 0,5. Tato hodnota nemusí být přesná například z toho důvodu, že při výrobě akcelerometru došlo k nepatrnému posunu osy. V tomto případě bylo pomocí měření výstupní hodnoty střidy akcelerometru zjištěno, že nulové zrychlení v ose X odpovídá střídě 0,453 a v ose Y je tato hodnota 0,522. Takto získaný rozdíl se podělí citlivostí digitálního výstupu, která má u akcelerometru ADXL202 velikost 0,125. Tímto výpočtem se získá údaj o zrychlení v jednotkách g.

$$A(g) = \frac{\frac{pulse_prumer}{period_prumer} - strida(0g)}{0,125} \quad (6)$$

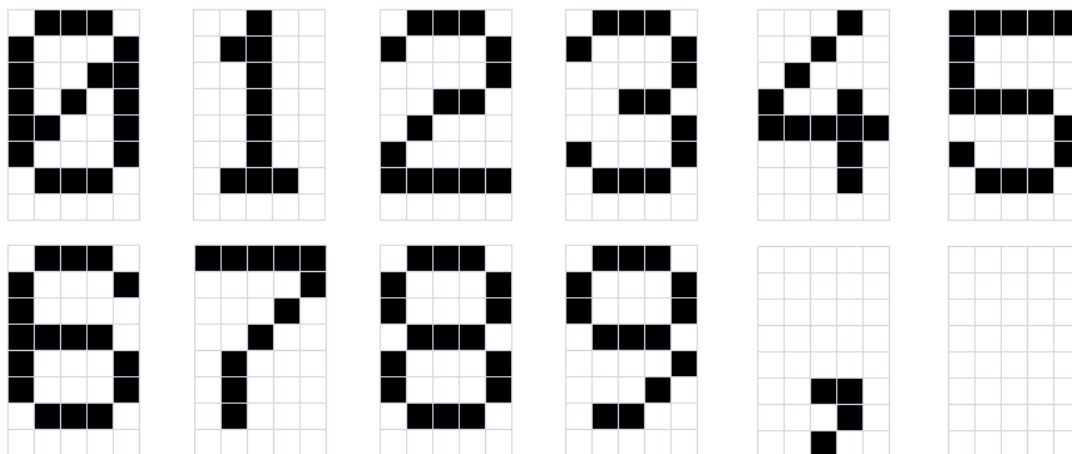
Z hodnoty zrychlení pak lze vypočítat žádanou hodnotu náklonu. Výpočet se provádí pomocí převodní funkce arkus sinus, jak je zobrazeno na Obrázku 8. Program používá funkci *asin()*, jejímž vstupem je hodnota zrychlení $A(g)$ a výstupem je hodnota úhlu náklonu v radiánech. Pro přepočet hodnoty v radiánech na stupně, vynásobíme výsledek konstantou 180 a vydělíme číslem π (3,14159265).

$$uhel = a \sin(A(g)) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (7)$$

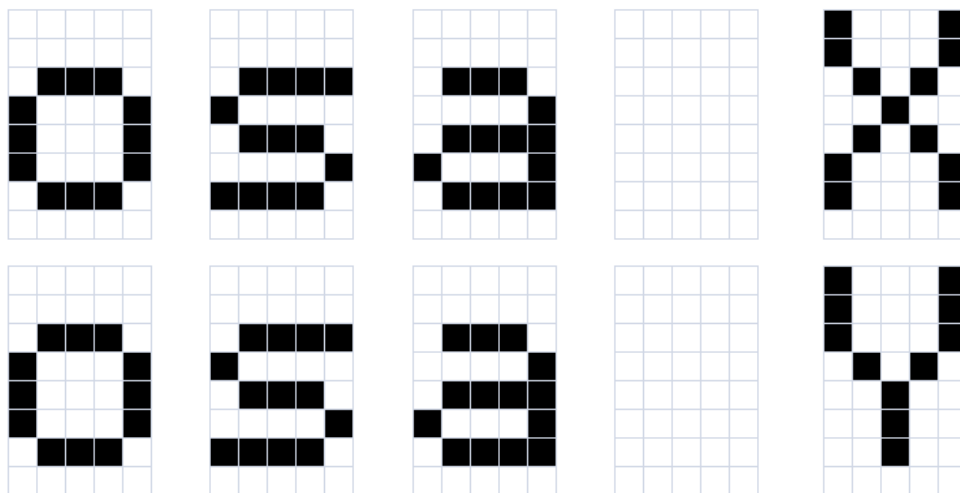
Takto získaná hodnota náklonu je typu float. Pro její zobrazení na displej je převedena pomocí funkce *ftoa* na řetězec znaků.

5.5 Zobrazení na displej

Pro zobrazení údaje o náklonu je použit grafický LCD displej ATM12864D. Tento displej nedisponuje znakovou sadou. Z tohoto důvodu je nutné tuto sadu vytvořit. Displej má tu vlastnost, že pracuje současně s osmicí pixelů pod sebou, pomocí instrukce zápisu na displej lze dané pixely rozsvítit či zhasnout pomocí 8bitové hodnoty přivedené na datové vývody displeje. Navržené znaky využívají této vlastnosti a proto mají velikost 8x5 pixelů. Program zobrazuje jen omezené množství znaků, proto je navržena jen omezená sada. Základem jsou číslice 0 až 9, čárka a mezera. Dále jsou zobrazovány popisné údaje „osa X“ a „osa Y“. Na následujících obrázcích jsou navržené znaky zobrazeny.

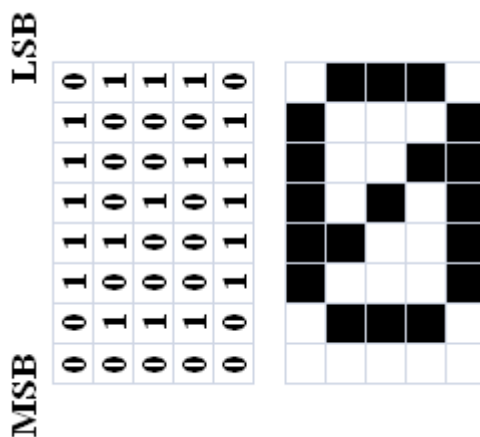


Obrázek 28. Navržené znaky číslic 0 – 9, čárky a mezery



Obrázek 29. Navržené znaky „osa X“ a „osa Y“

Aby se vypsál jeden znak, je zapotřebí 5krát provést instrukci zápisu dat na displej, což odpovídá pěti sloupků každého znaku. Pokud má daný pixel svítit, je mu přiřazena hodnota log. 1, má-li být zhasnut, tak log. 0. Instrukce zápisu dat používá 8bitovou datovou sběrnici, kdy nejvýznamnější bit (MSB) odpovídá nejspodnějšímu pixelu osmice bodů. Například pro výpis prvního sloupce čísla nula, se na datové vývody přivede posloupnost 00111110b (binárně).



Obrázek 30. Číselná interpretace navrženého znaku „0“

5.5.1 Inicializace displeje

Po spuštění programu je zapotřebí inicializovat displej a vymazat data, která zůstala v DDRAM paměti displeje. Inicializace se provádí pomocí instrukce zapnutí displeje popsané výše. Tato instrukce způsobí zapnutí displeje a zobrazí data, která se nacházejí v paměti DDRAM displeje. Mazání displeje se provede tak, že se povolí práce s oběma částmi displeje pomocí vývodů CS1 a CS2, přivede se na ně log. 1. Dále následuje nastavení kurzoru na počáteční adresu, která spočívá v nastavení stránky 0, adresy X na nulu a nulového posunu adresy Y. Po nastavení kurzoru následuje dvojitý cyklus *for*. Vnější cyklus nastavuje stránky 0 až 7 a nastavuje adresu X na nulu. Vnitřní cyklus vypisuje pomocí instrukce výpisu dat hodnotu 0x00, která reprezentuje zhasnutí všech osmi pixelů na dané adrese. Vnitřní cyklus probíhá 64krát, protože právě tolik je sloupců na jedné části displeje. Adresa X se ve vnitřním cyklu nemusí přenastavovat, protože se automaticky inkrementuje po každém provedení zápisu dat.

Následuje výpis hodnot úhlů osy X a osy Y na levé části displeje a kříže jehož pohyb reprezentuje velikost náklonu.

5.5.2 Zobrazení hodnot náklonu

Pro zobrazení číselných hodnot náklonu se používá levá část displeje. Použity jsou první čtyři řádky displeje. První a třetí řádek displeje jsou použity pro zobrazení popisu. První řádek obsahuje řetězec znaků „osa Y“. Na třetím řádku je vypsán řetězec „osa X“. Tyto řádky jsou zapsány na displej před začátkem nekonečné smyčky programu, protože nápisy na těchto řádcích jsou statické a nemění svoji podobu. Pro odlišení od ostatních řádků jsou tyto znaky vypsány reverzně v tom smyslu, že pixely, které mají svítit jsou zhasnuté a naopak.

5.5.2.1 Výpis popisných řádků

Na prvním a třetím řádku levé části displeje jsou zobrazeny popisky, které udávají název osy, která je zobrazena na následujícím řádku. První řádek zobrazuje řetězec „osa Y“, třetí řádek „osa X“.

Zobrazení probíhá pomocí dvou cyklů *for*. První cykl se opakuje 5krát, přesně tolikrát, kolik je písmen popisky. Vnitřní cyklus probíhá 6krát, protože každý znak je definován pomocí pěti sloupců podle Obrázek 29 a jednoho sloupce, který tvoří dělicí mezeru mezi znaky. Jeden znak je tedy zobrazen pomocí šesti instrukcí výpisu dat na displej. Znaky pro popisky os jsou uloženy do dvourozměrného pole, kde řádky odpovídají jednotlivým znakům a sloupce jednotlivým částem daného znaku. Aby se zvýraznil výpis těchto řetězců, jsou vypisovány tím způsobem, že pixely, které mají být rozsvícené, jsou zhasnuté a naopak. Toto je realizováno odečtem hodnoty 0xFF

od původní hodnoty sloupce daného znaku. Zbytek řádku je pak doplněn rozsvícenými pixely pomocí instrukce zápisu dat s hodnotou 0xFF.

5.5.2.2 Výpis hodnot náklonu

Znaky čísel, které se vypisují na displej jsou uloženy v dvourozměrném poli. Čísla řádků pole odpovídají nominální hodnotě číslice a sloupce určují, jaké bity budou rozsvíceny a jaké zhasnuty. Znaky jsou navrženy podle Obrázku 28 a hodnoty jejich sloupců se řídí podle vzoru z Obrázku 30. V proměnné typu dvourozměrného pole jsou uloženy znaky v pořadí od číslice 0 do číslice 9, poté následuje znak čárky a mezery.

Vlastní hodnoty náklonu v úhlech jsou uloženy jako řetězec znaků, díky tomu se dají jednoduchým způsobem porovnávat jednotlivá čísla údaje. Řetězec s údaji o náklonu se po prvcích porovnává s hodnotami čísel 0 až 9 a poté se pomocí instrukce výpisu dat na displej zobrazí příslušný znak. Takto se porovnávají všechny znaky řetězce. Pokud prvním znakem řetězce není znaménko mínus (hodnota náklonu je kladná), je vypsána mezera. Dále následuje výpis dalších znaků náklonu. Po dotekování znaménka čárky se tento znak vypíše a poté se zobrazí už jen dva znaky řetězce. Hodnota náklonu se tedy zobrazuje pouze se dvěma desetinnými místy.

5.5.2.3 Vykreslení kříže

Na pravou část displeje je přidáno zobrazení kříže, který graficky znázorňuje náklon obou os. Toto zobrazení je spíše orientační, protože jeho rozlišovací schopnost je jeden stupeň náklonu. Slouží jako prvotní ukazatel míry náklonu, pro přesné zjištění je pak nutné se zaměřit na levou část displeje, kde se zobrazují číselné hodnoty s přesností na dvě desetinná místa.

Pomocí instrukcí nastavení adresy X, stránky a adresy Y grafického displeje se nastaví počáteční nulová poloha kříže. K počátečním hodnotám adresy X a adresy Y se připočítává hodnota aktuálního posunu v daném směru. Pro posun adresy X se připočítává hodnota náklonu v ose X a stejným způsobem se vypočítává hodnota posunu adresy Y. Posun kurzoru pro výpis na displej je pouze celočíselný, proto jsou hodnoty náklonu zaokrouhleny také na celá čísla a proto je rozlišovací schopnost zobrazení kříže jeden stupeň. Výpis kříže je rozdělen na výpis vodorovné a svislé části (čáry). Obě čáry mají velikost 16 pixelů. Před každým výpisem aktuální pozice kříže se smaže výpis, který byl zobrazen v předešlém cyklu.

5.6 Odeslání hodnot po USART

Program umožňuje nejen výpis aktuálních hodnot náklonu na displej, ale zároveň lze tyto hodnoty odesílat po sériovém kanálu USART na rozhraní RS-232. Takovéto odesílání umožňuje zaznamenávat aktuální hodnoty náklonu a provádět vyhodnocování těchto dat.

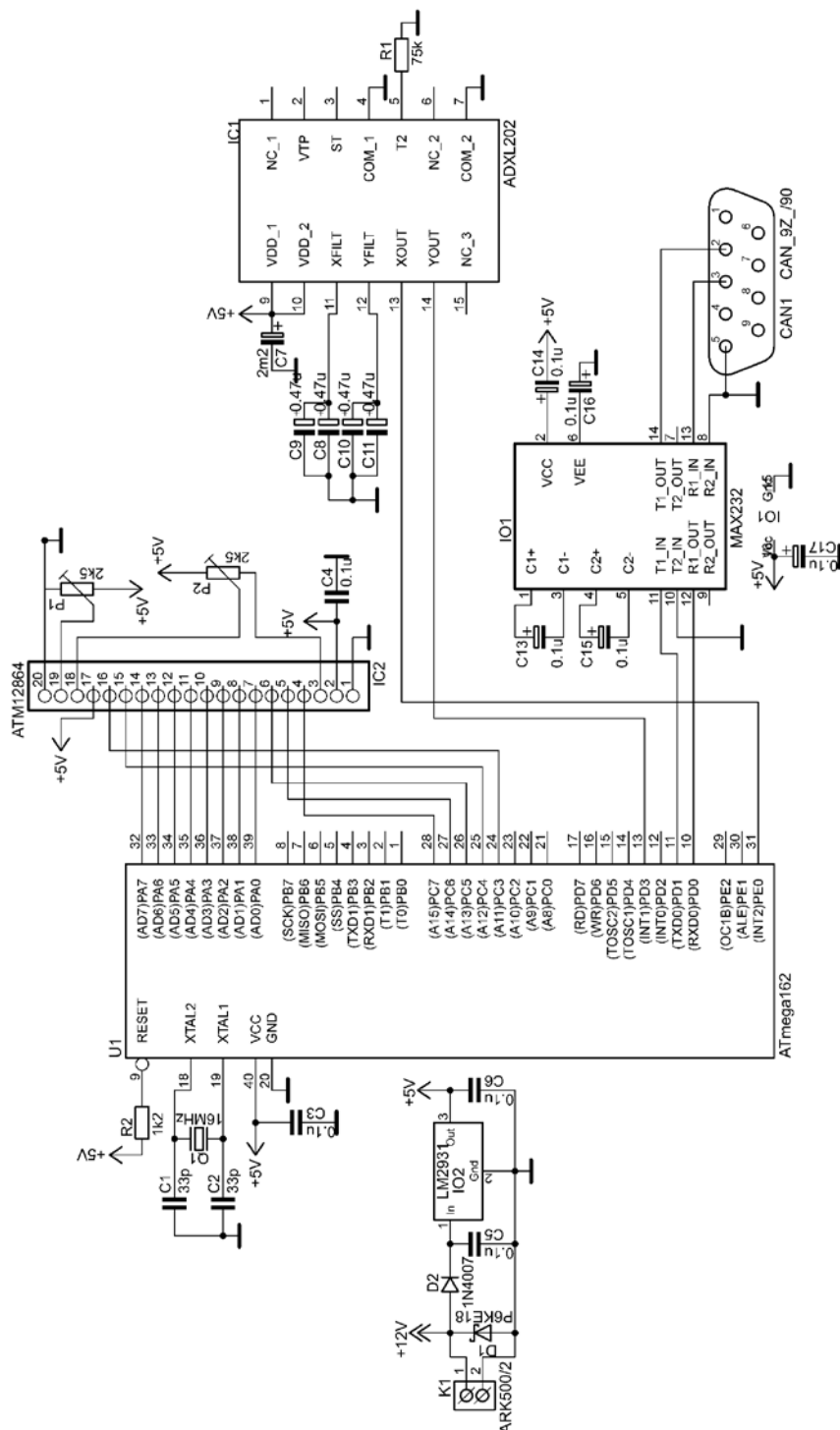
Pro odesílání dat je použit sériový kanál USART0. Pomocí registru *UBBR0* = 0x67 je nastavena přenosová rychlost sériového kanálu na hodnotu 9600 b/s. Registr *UCSR0B* s hodnotou 0x08 povoluje odesílání, registr *UCSR0C* = 86 nastavuje formát odesílaných dat na 8 datových bitů a jeden stop bit bez parity. Data se odesílají pomocí funkce *printf*, do které se vkládá hodnota náklonu ve formě řetězce znaků. Odesílání hodnoty se provádí okamžitě po každém výpočtu aktuální hodnoty náklonu, ještě před jejím zobrazením na displej.

5.7 Blok zpoždění

Tento blok realizuje zpoždění pomocí funkce *delay*. Tato funkce generuje zpoždění o nastavené velikosti. Velikost zpoždění určuje periodu, se kterou se zobrazují aktuální informace o náklonu. Vysoká hodnota zpoždění zobrazuje údaje s příliš velkou prodlevou a při malé hodnotě zpoždění jsou vypisované údaje obtížně čitelné. Proto se zvolila jako kompromis hodnota zpoždění o velikosti 200 ms. Údaje o náklonu jsou tedy zobrazovány 5krát za sekundu.

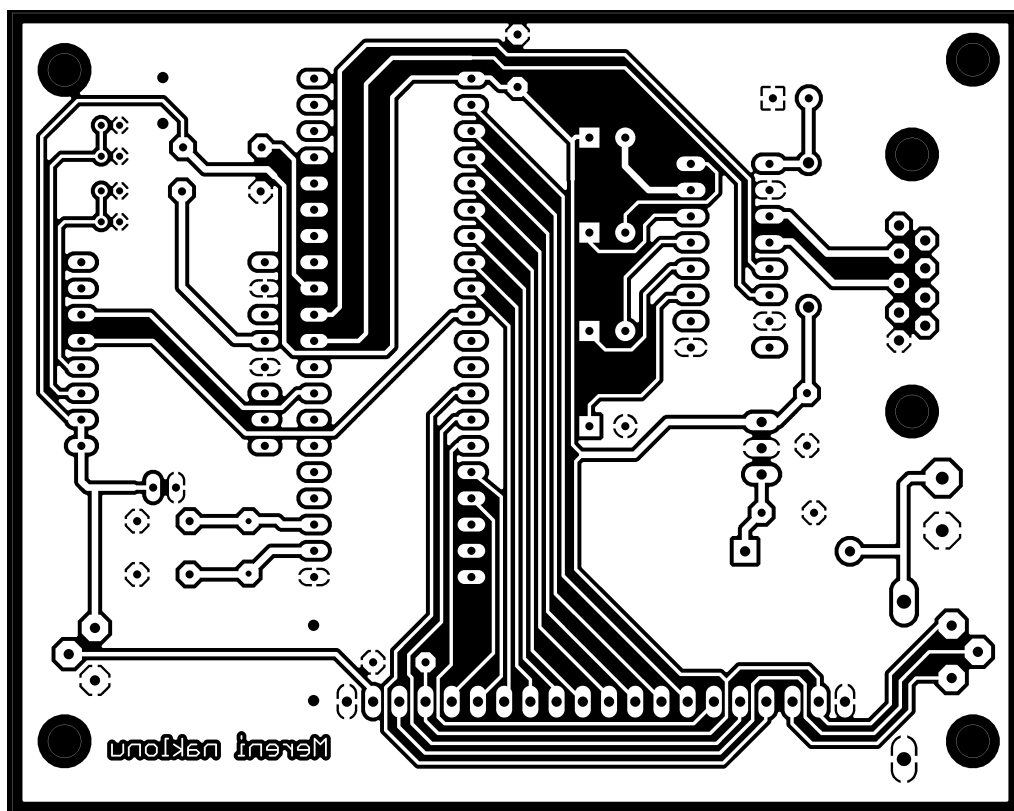
6 NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Součástí práce je také integrace použitých součástek na desku plošných spojů (DPS). Návrh je proveden v programu Eagle, který umožňuje vytvoření příslušného zapojení a návrh desky plošných spojů.



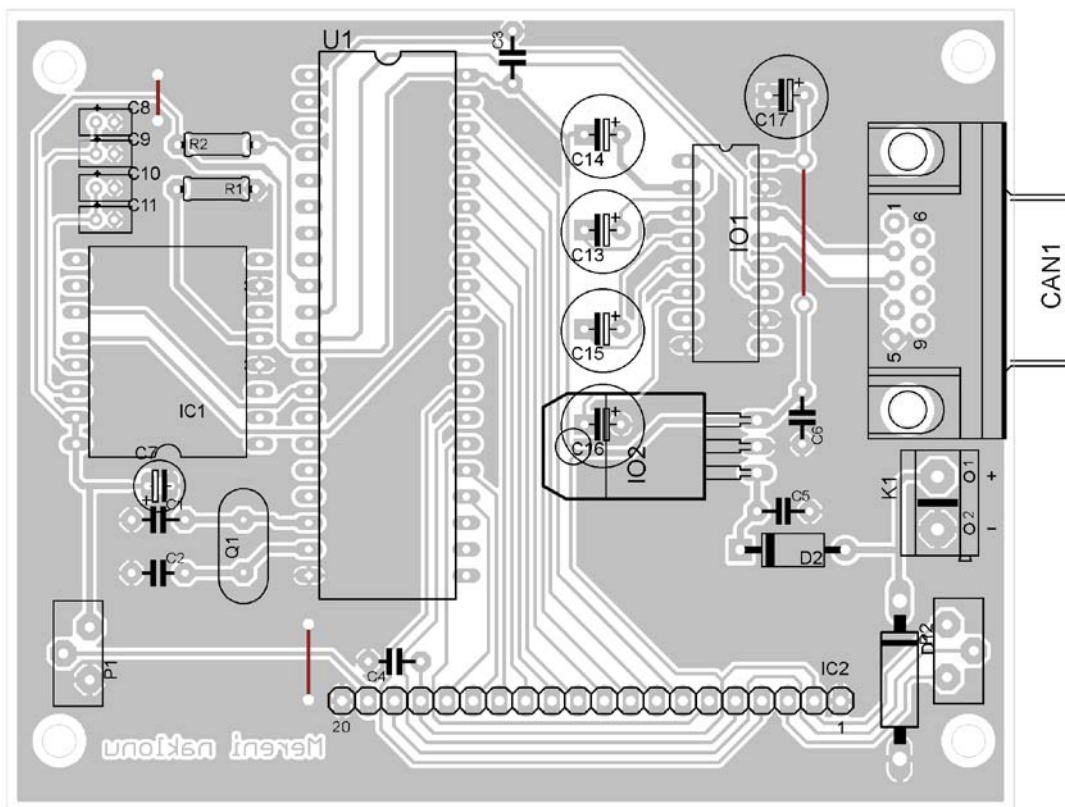
Obrázek 31. Schéma zapojení systému pro měření náklonu

Na Obrázku 31 je zobrazeno celkové zapojení systému pro měření náklonu. Z tohoto schématu je vytvořena deska plošných spojů. Velikost této desky odpovídá velikosti grafického displeje (93x70 mm). Návrh je koncipován tak, že DPS tvoří podstavu, nad kterou je pomocí distančních sloupků umístěn displej o stejných rozměrech.



Obrázek 32. Deska plošných spojů

Na Obrázku 32 je vidět navržená deska plošných spojů. Důležitou částí práce je osazení této desky a její oživení. Při osazování desky je zapotřebí se řídit popisky, které určují kam daná součástka patří. Zejména je nutné dbát na správné zapojení polarity elektrolytických a tantalových kondenzátorů a orientaci integrovaných obvodů. Další chyba může vzniknout při osazování displeje. Displej má u prvního a posledního vývodu pořadové číslo, jehož zapojení musí souhlasit s číslem, které je zapsáno na osazovacím výkresu na následujícím obrázku. Červeně označené části výkresu označují propojky, které je nutno zapájet. Poslední záležitostí, kterou je třeba ošetřit, je správné zapojení napájecího napětí. Napájecí napětí o velikosti 12 V se připojuje na svorkovnici K1. Kladná část napětí je přivedena na pin číslo 1, záporná část na pin číslo 2.



Obrázek 33. Osazovací výkres desky plošných spojů

V následující tabulce je seznam použitých součástek spolu s jejich popisem, nominální hodnotou a typem pouzdra.

| Označení | Součástka | Hodnota | Pouzdro Poznámka |
|----------|-------------------------|---------------|---------------------|
| C1 | Keramický kondenzátor | 33 pF | C-5 |
| C2 | Keramický kondenzátor | 33 pF | C-5 |
| C3 | Keramický kondenzátor | 100 nF | C-5 |
| C4 | Keramický kondenzátor | 100 nF | C-5 |
| C5 | Keramický kondenzátor | 100 nF | C-5 |
| C6 | Keramický kondenzátor | 100 nF | C-5 |
| C7 | Elektrolyt. Kondenzátor | 2,2 mF / 25 V | C-EL_5 |
| C8 | Tantalový kondenzátor | 470 nF / 25 V | E1,8-4 |
| C9 | Tantalový kondenzátor | 470 nF / 25 V | E1,8-4 |
| C10 | Tantalový kondenzátor | 470 nF / 25 V | E1,8-4 |
| C11 | Tantalový kondenzátor | 470 nF / 25 V | E1,8-4 |
| C13 | Elektrolyt. kondenzátor | 100 nF / 50 V | C-EL_3,5 |
| C14 | Elektrolyt. kondenzátor | 100 nF / 50 V | C-EL_3,5 |
| C15 | Elektrolyt. kondenzátor | 100 nF / 50 V | C-EL_3,5 |
| C16 | Elektrolyt. kondenzátor | 100 nF / 50 V | C-EL_3,5 |
| C17 | Elektrolyt. kondenzátor | 100 nF / 50 V | C-EL_3,5 |
| CAN1 | Konektor | CAN 9 Z 90 | CANON 9 |
| D1 | Transil | P6KE16 | CB417-15 |
| D2 | Dioda | 1N4007 | DO41 |
| IC1 | Akcelerometr | ADXL202 | DIL16 |
| IC2 | Grafický LCD displej | ATM12864D | PINHEAD 1x20 |
| IO1 | Převodník na RS-232 | MAX232 | DIL16 |
| IO2 | Napěťový stabilizátor | LM2931 | TO-220 |
| K1 | Svorkovnice | ARK500/2 | |
| P1 | Rezistorový trimr | 2,5 kΩ | PT10H |
| P2 | Rezistorový trimr | 2,5 kΩ | PT10H |
| Q1 | Krystal | 16 MHz | HC49U |
| R1 | Rezistor | 75 kΩ | R-7,5 |
| R2 | Rezistor | 1,2 kΩ | R-7,5 |
| U1 | Mikrokontrolér | ATmega162 | DIL40 |

Tabulka 3. Elektrická rozpiska součástek

7 MĚŘENÍ

Po oživení DPS bylo přistoupeno k měření výstupních hodnot. Pomocí rozhraní RS-232 bylo zařízení připojeno k počítači. Data byla získána pomocí funkce zachytávání textu programu HyperTerminal.

7.1 Zachytávání dat

Program HyperTerminal spustíme přes nabídku Start -> Programy -> Příslušenství -> Komunikace -> Hyperterminal. Zvolíme název připojení, port na kterém je zařízení připojeno, rychlost 9600 b/s, 8 datových bitů, jeden stop bit, žádná parita. V záložce Přenos zvolíme Zachytávat text a nastavíme jméno a adresu souboru, do kterého se budou data zaznamenávat.

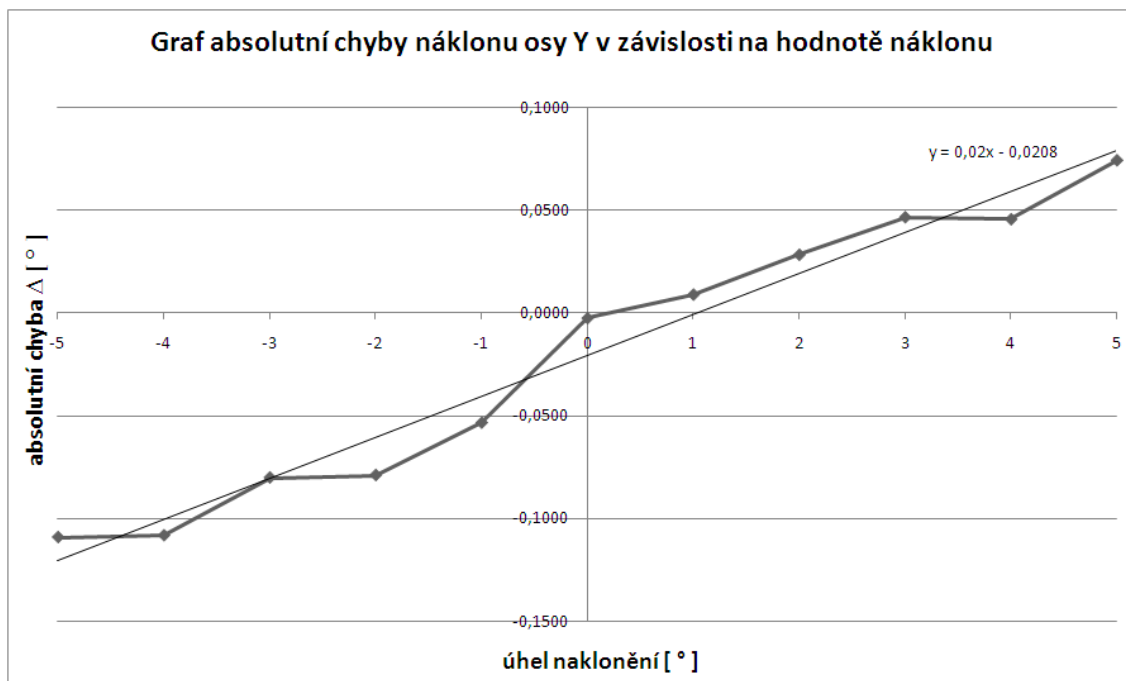
Velikost zpoždění v navrženém programu bylo zvoleno na hodnotu 1 s, informace o náklonu se tedy ze zařízení odesílají po sériové lince jednou za sekundu. Zařízení se umístilo na přístroj, který je schopen měnit úhel svého náklonu s přesností na desetiny stupně. Zaznamenány byli hodnoty při náklonu v rozmezí -5° až $+5^\circ$ po jednom stupni. Měření se provádělo pomocí změny náklonu v ose Y. Minimální počet zaznamenaných hodnot při každém nastavení úhlu byl vždy 120, měření tedy probíhalo minimálně dvě minuty pro každé nastavení úhlu náklonu.

7.2 Vyhodnocení dat

Prostředkem pro vyhodnocení dat se stalo programové prostředí Matlab. Toto prostředí disponuje jednoduchým ovládáním a velkým množstvím použitelných funkcí. Byl vytvořen program, který ukládá soubory s naměřenými hodnotami do proměnných. Z těchto hodnot je vypočítán průměr a od tohoto průměru je odečtena skutečná hodnota nastaveného náklonu. Tímto způsobem je získána absolutní chyba měření Δ při daném nastavení náklonu.

$$\Delta = x_U - x_S = \text{naměřena} - \text{spravna} \quad [^\circ] \quad (8)$$

Získané chyby pro jednotlivá nastavení náklonu jsou uložena do programu Excel, kde jsou vložena do grafu a je získána rovnice regrese.



Obrázek 34. Graf absolutní chyby měření

Rovnice regrese vypadá následovně:

$$y = 0,02x + 0,0208. \quad (9)$$

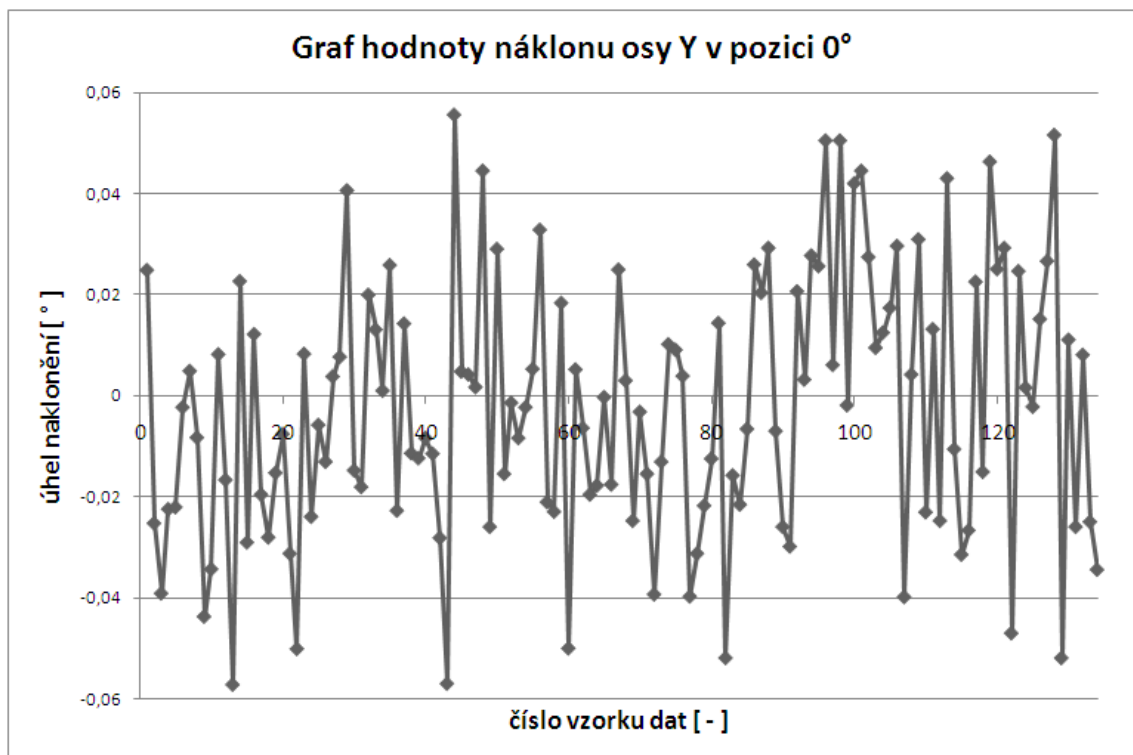
V ideální případě by tato rovnice byla konstantní, nezávislá na velikosti nastaveného náklonu. V tomto případě je však výstupní hodnota závislá na velikosti nastaveného náklonu. Z rovnice (9) lze vyčíst, že každý stupeň nastaveného náklonu se projeví zvýšením absolutní chyby o 0,02 stupně náklonu. Při dodržení tohoto trendu se výstupní hodnota náklonu změní o 0,1° za každých 5 stupňů vstupního nastavení náklonu. Dochází tedy ke změně citlivosti. Tuto změnu lze kompenzovat tím, že se změní citlivost dané osy ve výpočtu náklonu v programu. V rovnici (6) se počítá s citlivostí o velikosti 0,125. Změnou této hodnoty lze kompenzovat naměřené absolutní chyby. Naměřená hodnota náklonu je větší než skutečná, vypočtené zrychlení je větší než ve skutečnosti. Hodnota vypočteného zrychlení se tedy musí zmenšit pomocí změny citlivosti. Hodnota zrychlení je nepřímo úměrná citlivosti, proto se velikost citlivosti musí zvýšit.

Pro vstupní nastavení úhlu 0° je vypočítán průměr, maximální a minimální hodnota dat.

| | |
|---------------|---------|
| minimum [°] | -0,0573 |
| maximum [°] | 0,0557 |
| průměr [°] | -0,0025 |

Obrázek 35. Vypočítané hodnoty z dat osy Y při nulovém náklonu

Průměrná hodnota je v absolutní hodnotě menší než setina stupně, což se dá pokládat za nulovou hodnotu. Pokud by tato hodnota nevyhovovala, lze tuto stejnosměrnou složku odstranit při výpočtu hodnoty zrychlení v programu. Podle rovnice (6) se počítá s tím, že hodnota střídá v nulové poloze je 0,522. Změnou této hodnoty lze dosáhnout nulové hodnoty stejnosměrné složky.



Obrázek 36. Graf hodnoty náklonu osy Y při vstupním náklonu 0°

Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou naměřených dat se dá pokládat za velikost šumu výstupního signálu. Jeho hodnota je:

$$\text{šum} = \max - \min = 0,0557^\circ - (-0,0573^\circ) = 0,113^\circ. \quad (10)$$

Pomocí nástroje dodávaného výrobcem akcelerometru Analog Devices [21] lze vypočítat výslednou hodnotu šumu akcelerometru. Zadanými hodnotami jsou nastavené parametry signálu (perioda $T_2 = 0,6ms$), frekvence čítání jednotky Input Capture ($f = 16MHz$) a velikost filtračních kondenzátorů X_{FILT} , Y_{FILT} ($0,94 \mu F$). Vypočtená hodnota šumu je 0,2 stupně náklonu. Porovnáním hodnoty šumu vypočítané z naměřených dat a hodnotou udávanou výrobcem lze zjistit, že navržené zařízení má ve stabilní nulové poloze menší hodnotu šumu.

| 7. Estimate of total resolution (iterate to meet design objective) | | |
|---|--|--|
| We are now in a position to bring together the various calculation above to determine the resolution of the complete analog and digital design. The ultimate resolution is determined by both the noise at the analog output (Xcap and Ycap) and the quantization bit size of the PWM + counter system. At this point check the total system resolution to see if it meets your requirements. If it does not, then revisit bandwidth at Xfilt and Yfilt, acquisition rate or counting rate to reduce noise. You may also want to consider digital filtering, (oversampling) to reduce noise at the expense of sampling rate as discussed in the next section. | | |
| Noise due to analog section | 0.003 g (max P-P) @2X RMS | This is the noise contribution at the analog output Xcap, Ycap |
| Resolution of digital output- counter | 0.001 g | This is the quantization noise of the digital output |
| Estimated Total Noise (resolution): | 0.003 g P-P | This is the total P-P noise, which is the root sum square of the analog and digital noise. |
| Estimated Total Noise (resolution): | 0.2 deg of tilt @ 17mg/deg | |
| Noise (Resolution) is limited by: | Bandwidth at Xfilt, Yfilt; reduce bandwidth if lower noise desired (section 2) | |

Obrázek 37. Hodnota šumu udaná výrobcem akcelerometru [21]

8 ZÁVĚR

Seznámil jsem se s rehabilitační metodou vertikalizace a s dynamickým vertikalizátorem Balance Trainer používaným ve fyzioterapii.

Pro tento přístroj byl navržen systém pro měření náklonu. Zařízení pro měření náklonu využívá dvouosý akcelerometr ADXL202. Akcelerometr na svém výstupu poskytuje hodnotu a zrychlení obou os ve formě pulsně šířkové modulace signálu. Signál je přiveden na vstupy jednotky Input Capture mikrokontroléru ATmega162. V mikrokontroléru dochází z zachycení signálů a jejich přepočtu na údaj o náklonu v jednotkách stupňů náklonu. Informace jsou zobrazeny pomocí grafického LCD displeje ATM12864D, který je řízen mikrokontrolérem. Data jsou zobrazována na displej ve formě číselné hodnoty a zároveň jako pozice kříže, která se mění s hodnotou náklonu. Současně pomocí sériového kanálu mikrokontroléru odesílá data na sériové rozhraní RS-232.

Součástí práce je návrh hardwarové části, kde výstupem je funkční deska plošných spojů. Programová část obsahuje program zpracovávající signál z akcelerometru, jeho převod na stupně náklonu, odeslání těchto hodnot na sériové rozhraní a jejich zobrazení pomocí displeje. Pro ovládání displeje byl vytvořen soubor obsahující funkce pro práci s displejem.

Pro ověření funkčnosti navrženého zařízení bylo provedeno měření. Měření spočívalo v nastavování polohy zařízení a zaznamenávání výstupních hodnot. Údaje se zaznamenávali do souboru pomocí programu HyperTerminal. Při měření náklonu osy Y, kdy zařízení bylo ve stabilní poloze a nastavená hodnota náklonu byla nulová se změřili údaje zobrazené na Obrázku 36. Rozdíl mezi minimální a maximální naměřenou hodnotou byla $0,113^\circ$, což lze pokládat za velikost šumu výstupního signálu. Po zadání hodnot signálu do souboru .xls [21] od výrobce akcelerometru, lze vypočítat teoretickou hodnotu velikosti šumu, která je $0,2^\circ$ náklonu. Navržené zařízení má tuto hodnotu nižší.

Literatura

- [1] Medica Medizintechnik GmBh: *Manual BALANCE-Trainer*. [online]. [cit. 2008-11-28]. Dostupné na URL: <http://www.medica-medizin.de/cms/upload/Bilder/Downloads/EN_GA_BT_07001-001.pdf>
- [2] Ambulatorium: *Návod pro Balance Trainer*. [online]. [cit. 2007-05-10]. Dostupné na URL: <http://www.ambulatorium.cz/pdf/balance_trainer.pdf>
- [3] HB Electronic Components: *User's Guide ATM12864D*. [online]. [cit. 2010-11]. Dostupné na URL: <<http://www.hebeiltd.com.cn/lcm.datasheet/ATM12864D.pdf>>
- [4] Atmel: *Datasheet ATmega162*. [online]. [cit. 2009-7]. Dostupné na URL: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2513.pdf>
- [5] Analog Devices: *Datasheet ADXL202*. [online]. [cit. 1999-11]. Dostupné na URL: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL202_210.pdf>
- [6] Analog Devices: *Analog Dialogue: Chapter 3: Sensors*. [online]. [cit. 2008-1-28]. Dostupné na URL: <<http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/42-03/CH03-H8703.pdf>>
- [7] Analog Devices: *Using the ADXL202 Duty Cycle Output*. [online]. [cit. 2002]. Dostupné na URL: <http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/320058905AN604.pdf>
- [8] H.R. Everett: *Sensors for Mobile Robots – Theory and Application*. K A Peters, 1995, ISBN 1-56881-048-2
- [9] Kester, V.; Briant, J.; Jung W.: *Practical design techniques for sensors signal conditioning*. Analog Devices, Inc., 1999. 366 s. ISBN 0-916550-20-6
- [10] Maxim: *Datasheet MAX232*. [online]. [cit. 2010-7]. Dostupné na URL: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>>
- [11] National Semiconductor: *Datasheet LM2931*. [online]. [cit. 2011-4-14]. Dostupné na URL: <<http://www.national.com/ds/LM/LM2931.pdf>>
- [12] Firda, Ľubomír: *Léčebná rehabilitace na anesteziologicko resuscitačním oddělení*. [online]. [cit. 2010]. Dostupné na URL: <http://www.osu.cz/zsf/sbornik/prisp_12.pdf>
- [13] Microchip: *Measure Tilt Using PIC16F84A & ADXL202*. [online]. [cit. 1999-8-18]. Dostupné na URL: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00715a.pdf>>
- [14] Agoston, Katalin: *Microcontroller Based System for Vibration Analysis*. [online]. [cit. 2008-8-5]. Dostupné na URL: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4588815>>

- [15] Atmel: *Using Timer Capture to Measure PWM Duty Cycle*. [online]. [cit. 2005-10]. Dostupné na URL: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8014.pdf
- [16] Hp InfoTech: *CodeVisionAVR V2.05.1 User Manual*. [online]. [cit. 2011-2-27]. Dostupné na URL: http://www.hpinfotech.ro/html/cvavr_doc.htm
- [17] Ambulatorium: *Dynamický vertikalizátor*. [online]. [cit. 2009-9-23]. Dostupné na URL: http://www.ambulatorium.cz/pdf/dynamicky_vertikalizator.pdf
- [18] Ambulatorium: *Trenažéry prezentace*. [online]. [cit. 2009-10-2]. Dostupné na URL: http://www.ambulatorium.cz/pdf/trenazery_prezentace.pdf
- [19] Matoušek, David: *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR*. 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura. 2006. 376 s. ISBN 80-7300-209-4
- [20] Váňa, Vladimír: *Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C*. 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura. 2003. 216 s. ISBN 0-916550-20-6
- [21] Analog: *The XL202 Interactive Designer*. [online]. [cit. 2010]. Dostupné na URL: http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/339146944design02.xls

SEZNAM ZKRATEK

| Zkratka/Symbol | Jednotka | Popis |
|----------------|----------|---|
| b/s | | Bitů za sekundu |
| DDRAM | | Display Data Random Access Memory |
| DPS | | Deska plošných spojů |
| g | | Jednotka gravitačního zrychlení |
| Input Capture | | Zachycení vstupního signálu |
| LCD | | Liquid Crystal Display |
| LSB | | Least Significant Bit |
| MSB | | Most Significant Bit |
| PŠM | | Pulsně šířková modulace |
| PWM | | Pulse-Width Modulation |
| RS-232 | | Recommended Standard 232 |
| RxD | | Receive Data |
| TTL | | Transistor-Transistor Logic |
| TxD | | Transmitt Data |
| T1 | | Kladná část periody |
| T2 | | Perioda signálu |
| USART | | Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter |

Seznam příloh na CD

Příloha 1. Hlavní dokument (text diplomové práce)

Příloha 2. Zdrojové texty programu

Příloha 3. Naměřená data

Příloha 4. Schéma a deska plošných spojů